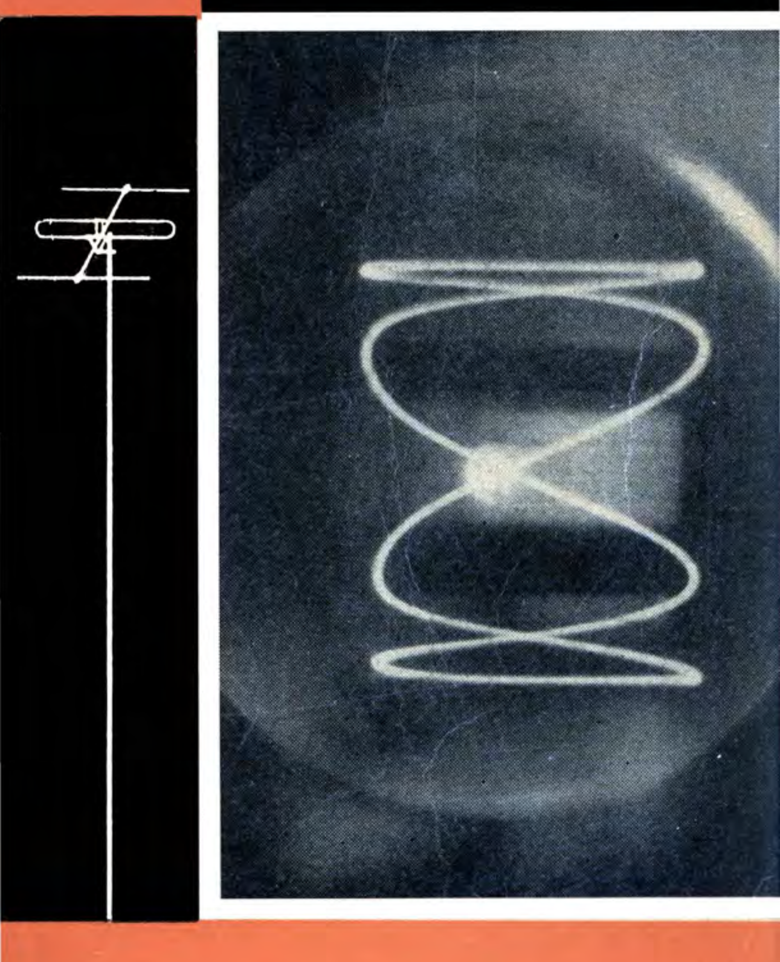
45

DER PRAKTISCHE FUNKAMATEUR



Hagen
Jakubaschk

Oszillografentechnik für den Amateur
Teil II: Praxis der Oszillografie

Der praktische Funkamateur · Band 45

Oszillografentechnik für den Amateur

Teil II: Praxis der Oszillografie

HAGEN JAKUBASCHK

Oszillografentechnik für den Amateur

Teil II: Praxis der Oszillografie



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG

Redaktionsschluß: 20. Dezember 1967

2. Auflage
11.–25. Tausend
Deutscher Militärverlag · Berlin 1968
Lizenz-Nr. 5
Zeichnungen: Brigitta Westphal
Fotos: Verfasser
Typografie: Günter Hennersdorf
Lektor: Bernd Schneiderheinze
Vorauskorrektur: Johanna Pulpit · Korrektor: Ingeborg Kern
Hersteller: Werner Briege
Gesamtherstellung: Druckerei Märkische Volksstimme, Potsdam A 427

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Während im Teil I, „Gerätetechnik", vorwiegend die zu einem Oszillografen-Meßplatz gehörenden Einzelgeräte sowie die Grundlagen der Oszillografentechnik behandelt wurden, beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit der praktischen Durchführung oszillografischer Messungen. Obwohl dabei auf die im Teil I gezeigten Geräte Bezug genommen wird und diese Broschüre somit unmittelbar an die dortigen Darlegungen anschließt, sind die Meßanleitungen selbstverständlich allgemeingültig. Da in der Oszillografen-Meßtechnik der Besitz der entsprechenden Geräte allein noch nicht über die Qualität der damit durchgeführten Messungen entscheidet, sind sie von besonderer Bedeutung. Die Vielseitigkeit dieses Meßverfahrens bringt es mit sich, daß zu jeder Meßaufgabe zunächst einmal die sinnvolle Meßschaltung und der geeignete Meßaufbau gefunden werden müssen. Es ist also unmöglich, den Oszillografen einfach wie einen Vielfachmesser nach dem Prinzip Anschließen – Ablesen anwenden zu wollen; vielmehr muß vor jeder Meßaufgabe zuerst mit dem Kopf gemessen, d. h. der Meßvorgang gründlich durchdacht werden. Dazu will der vorliegende Titel die entsprechende Anleitung geben. Neben zahlreichen Oszillogrammfotos (die ebenso wie bei Teil I eine exakte Auswertung des Schirmbilds erleichtern sollen und die man unmittelbar zum Vergleich heranziehen kann) werden deshalb hier vorwiegend die allgemeinen Meßgrundlagen vermittelt. Aus ihnen läßt sich leicht die jeweilige Meßanordnung für eine Sonderaufgabe entwickeln. Auf alle Einzelheiten einzugehen ist in diesem Rahmen naturgemäß unmöglich, jedoch gelingt es fast immer, derartige Sonderaufgaben auf Variationen bekannter Meßprinzipien zurückzuführen. Unter diesem Gesichtspunkt wurde das vorliegende Material zusammengestellt, wobei der Verfasser von den Möglichkeiten und Erforder-

nissen der Amateurpraxis ausging. Es kann ohne Übertreibung gesagt werden, daß mit dem Oszillografen und notfalls mit wenigen Zusatzgeräten alle beliebigen Größen und Vorgänge – auch nichtelektrischer Art – meßbar sind. Besonders dem fortgeschrittenen Amateur, aber auch dem Werkstattfachmann und nicht zuletzt dem Nachrichtentechniker in der Nationalen Volksarmee soll darum hiermit ein meßtechnischer Leitfaden in die Hand gegeben werden, der auch zum schnellen Nachschlagen geeignet ist. Für nähere Details und Sondermessungen – insbesondere nichtelektrischer Größen – sei auf das Literaturverzeichnis, dort insbesondere auf das umfangreiche Standardwerk von Czech, *Oszillografen-Meßtechnik*, verwiesen.
Dem Amateur wie dem Fachmann bietet oftmals die fotografische Registrierung und nachträgliche Auswertung von Schirmbildern wesentliche Vorteile; mit ihrer Hilfe sind teilweise auch Messungen durchführbar, die andernfalls wesentlich größeren Geräteaufwand oder Spezialoszillografen erfordern. Deshalb ist ein Kapitel mit Hinweisen zur fotografischen Registrierung von Oszillogrammen angefügt worden.
Die Darstellung der Meßschaltungen erfolgt weitgehend durch Blockschaltskizzen; der Oszillograf selbst ist meist – auch wenn für die Messung der eingebaute Y-Verstärker oder Kippteil benutzt wird – in Form des vereinfachten Bildröhren-Schaltsymbols nach Bild 3b des Teiles I gezeichnet. Das gewährleistet eine bessere Übersichtlichkeit. Die in diesen Skizzen an die Ablenkplatten führenden Leitungen sind dann sinngemäß an die entsprechenden Oszillografen-Eingänge zu legen, wie das aus dem jeweiligen Meßvorgang hervorgeht. Auf eine Ergänzung, die bei keinem Oszillografen fehlen sollte und stets auch nachträglich leicht anzubringen ist, sei noch besonders hingewiesen: Es handelt sich um einen Raster (günstigste Linienbreite 5 mm), der direkt auf dem Bildröhrenboden aufliegt und fest montiert sein kann. Er läßt sich ohne Schwierigkeit durch Aufkleben von transparentem (oder mit Benzin-Wachs-Lösung getränktem) Millimeterpapier, besser durch

Reproduktion von Karopapier auf Fotoplanfilm, der dann mit der Röhre eingespannt wird, improvisieren. Bei allen in diesem Heft beschriebenen Messungen wird ein solcher Raster vorausgesetzt. Er erleichtert die genaue Auswertung der Schirmbilder, insbesondere beim Auszählen von Kurvenzügen und beim Beurteilen von Amplitudenänderungen.

Dem Verlag danke ich für die verständnisvolle Zusammenarbeit bei der Herausgabe dieses Titels, ebenso meiner Frau, die als ständig hilfsbereite Assistentin wiederum maßgeblich an der Herstellung des umfangreichen Bildmaterials beteiligt war.

Brandenburg, im Juni 1963 *Hagen Jakubaschk*

Vorwort zur 2. Auflage

Der vorliegende Band ist gegenüber der 1. Auflage unverändert geblieben. Er befaßt sich nicht mit der „inneren Funktion“ der Geräte, sondern mit dem Gerätegebrauch und mit der Auswertung der Schirmbilder. Das Oszillografen-Schirmbild eines elektrischen Vorgangs sieht aber – unabhängig, ob mit röhrenbestückten oder (datenmäßig vergleichbaren) halbleiterbestückten Geräten dargestellt – gleich aus. Auch die Meßtechnik ist die gleiche. Soweit sich neue Verfahren oder bestimmte, durch neue Schaltungstechniken (Halbleiter) bedingte Änderungen ergeben haben, betrifft das ausnahmslos Spezialgebiete, die für den Amateur nicht in Betracht kommen. Damit ergibt sich für den vorliegenden Band die – angesichts der schnellen Entwicklung gerade auf dem Gebiet der Elektronik recht seltene – Situation, daß der Inhalt der 1. Auflage noch unverändert aktuell ist. Die zahlreiche und durchweg zustimmende Leserresonanz rechtfertigt die Neuauflage.
Der vorliegende Band wird dem Amateur als „Bildervergleichsheft“ wertvolle Dienste leisten.

Nahmitz bei Brandenburg, im Herbst 1967

Hagen Jakubaschk

1. Amplitudenmessungen

Wie in Teil I bereits erläutert, lenkt eine an die Vertikal-Ablenkplatten (Y-Platten) angelegte Spannung den Leuchtpunkt vertikal aus. Die Seite der Auslenkung ist der Polarität, die Höhe der Auslenkung dem Betrag der Spannung direkt proportional. Damit ist der Oszillograf unmittelbar für Spannungsmessungen geeignet. Alle Amplitudenuntersuchungen – auch einzelner Kurventeile oder momentaner Spannungswerte – gehen daher grundsätzlich immer auf eine Spannungsmessung zurück. Falls die Meßspannung ausreichend hoch ist, kann sie direkt an die Ablenkplatten angeschlossen werden. Das ermöglicht (bis auf die bei hohen Frequenzen auftretende kapazitive Belastung der Meßspannungsquelle durch die Ablenkplattenkapazitäten) eine praktisch belastungsfreie Messung.

1.1. Spannungsmessungen

1.1.1. Gleichspannungsmessungen

Hierfür sind die Zeitablenkplatten der Bildröhre nicht unbedingt erforderlich. Das Auswandern des Leuchtpunkts aus der Ruhelage nach oben und unten kann als Maß für den Betrag der Spannung benutzt werden. Praktisch günstiger ist es jedoch, die Zeitablenkung auf einer mittleren Frequenz (einige 100 bis 1000 Hz) frei laufen zu lassen. Es wird dann ein Strich (Nullinie) geschrieben, der als horizontal liegender „Zeiger" dient und von der Meßgleichspannung nach oben oder unten ausgelenkt wird. Damit ist nicht nur ein genaueres und leichteres Ablesen möglich, sondern es wird gleichzeitig die Gefahr, daß der Leuchtpunkt auf dem Bildschirm „einbrennt", beträchtlich verringert. – Die Meßspannung soll stets mit dem positiven Pol an der oberen Ablenkplatte angeschlossen sein, damit

man eine den gewohnten grafischen Darstellungen entsprechende Strahlauslenkung erhält.
Das Ablesen des Spannungswerts ist grundsätzlich ohne Hilfsmittel möglich, wenn der Bildschirm einen in Millimeter geeichten, genauen Raster aufweist und die Ablenkempfindlichkeit der Bildröhre in V/mm bekannt ist. Aus der erfolgten Ablenkung in mm kann die anliegende Spannung dann direkt errechnet werden. Genauer und für die Praxis bequemer und schneller ermittelt man die Spannung mit einem kleinen Hilfsgerät nach Bild 1, wobei

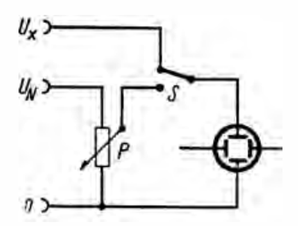


Bild 1
Spannungsmessung durch Vergleich mit einer bekannten Spannung

eine bekannte Vergleichsspannung benutzt wird. Bei Ux ist die Meßspannung, bei Un eine bekannte Vergleichsspannung (Spannungsnormal) angeschlossen, die möglichst etwas größer als die Meßspannung sein soll. Zunächst wird über Schalter S die Meßspannung Ux abgebildet und die erreichte Auslenkung an Hand des Schirmrasters notiert. Nach Umschaltung von S kann mit dem Regler P – der eine hochwertige Drahtausführung sein sollte – die Auslenkung auf genau den gleichen Rasterpunkt eingestellt werden. Die am Abgriff von P stehende Spannung entspricht dann der Meßspannung. Sie kann durch ein normales Voltmeter, das zwischen Schleifer von P und O liegt (Vielfachmesser!), bestimmt werden, wobei das Voltmeter aber bereits während der Einstellung von P angeschlossen sein muß. Wird für Un ständig die gleiche konstante Spannung (etwa von einem Glimmstabilisator) benutzt, so kommt man völlig ohne Meßinstrument aus. Der Regler P kann dann einmalig in Volt geeicht und die jeweilige Spannung unmittelbar an ihm abgelesen werden. – Die

Meßgenauigkeit steigt mit der Größe der Auslenkung, da im gleichen Verhältnis der Ablesefehler prozentual kleiner wird. Bewirkt die Meßspannung nur eine Auslenkung von wenigen Millimetern, so ist dieses Verfahren kaum für genaue Messungen geeignet.
Zur Messung geringerer Gleichspannungen benötigt man daher entweder einen Gleichspannungs-Meßverstärker, was leider eine Aufwandsfrage ist, oder aber die Gleichspannung muß in eine spannungsproportionale Wechselspannung umgeformt (zerhackt) werden. Neben mechanischen Zerhackern (Meßgleichspannungswandler; Achtung, übliche Zerhacker für Netzgeräte sind dafür qualitativ kaum brauchbar!) sei für den Amateur besonders auf kontaktlose elektronische Zerhacker für diesen Zweck hingewiesen. Insbesondere sind Schaltungen wie der Transistor-Chopper (vom Verfasser als Bauanleitung beschrieben in der Zeitschrift *radio und fernsehen*, Heft 20/1960, sowie in Band 20 *Transistorschaltungen* (I) der Reihe *Der praktische Funkamateur*, 1. und 2. Auflage) für diesen Zweck bestimmt. Behelfsmäßig kann ein mechanischer Chopper mit einem an 50 Hz Netzfrequenz betriebenen Relais mit Edelmetallkontakten improvisiert werden, das den Oszillografen-Eingang abwechselnd an die Meßspannung und an Erde legt. Mit geigneten Choppern lassen sich noch Gleichspannungen im Millivoltbereich exakt messen. Die Messung erfolgt dann ebenso wie bei einer Wechselspannung.

1.1.2. Wechselspannungsmessungen

Die Messung von Wechselspannungen kann auf zwei Arten geschehen: Einmal genau analog der unter 1.1.1. beschriebenen Gleichspannungsmessung, wobei jedoch zweckmäßig die Zeitablenkung abzuschalten ist. Es wird dann ein senkrechter Strich geschrieben, das Schirmbild ähnelt Bild 26 in Teil I. Zu beachten ist dabei, daß die Strichlänge jetzt dem Wert Spitze/Spitze der Meßspannung entspricht (in der Literatur Maßangabe Vss üblich). Die Meßspannung kann wieder durch Umrechnung der Ablenkhöhe über die Ablenk-

empfindlichkeit oder mit Vergleichsspannung nach Bild 1 (die jetzt eine Wechselspannung sein muß!) bestimmt werden, wie unter 1.1.1. bereits beschrieben. Mit dieser Methode können auch kleine Wechselspannungen über den üblichen Y-Meßverstärker gemessen werden, ohne daß dessen Verstärkungsfaktor bekannt sein muß. – Ein zweiter, meist bedeutend günstigerer Weg ist der, die Meßspannung als stehende Kurve mit synchronisierter Zeitablenkung abzubilden und durch gleichzeitiges oder nachträgliches Einschreiben einer Vergleichsspannung auszumessen (in letzterem Fall Amplituden am Raster vergleichen!). Außer der Maximalamplitude können dann auch andere interessierende Kurvenpunkte ausgemessen werden. (Dazu wurden in Teil I bereits nähere Angaben gemacht; unter Kapitel 2.4. ist ein geeigneter Eichspannungsgeber beschrieben sowie das Meßverfahren erläutert, und in den Bildern 41, 42 und 43 sind Schaltung und Meßvorgang dargestellt.) Auch der in Teil I unter 2.7. beschriebene Simultanschalter enthält – wie viele Oszillografen – bereits einen eingebauten Kalibrator.

Daher soll hier nur noch auf die Anwendung dieses Kalibrators im Zusammenhang mit dem Simultanschalter eingegangen werden. Zuvor sind die Begriffe Effektivspannung (Ueff), Scheitelspannung oder Maximalspannung (Umax) und Spitze/Spitze-Spannung (Uss) zu klären, deren Unterscheidung gerade in der Oszillografen-Meßtechnik eine wesentliche Rolle spielt.

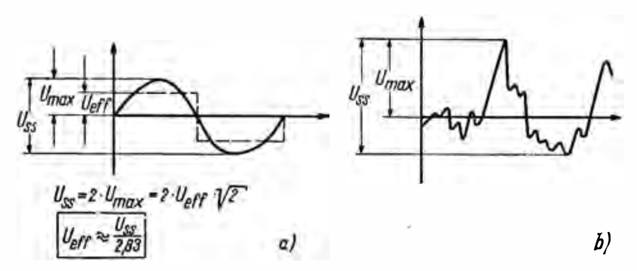


Bild 2 Zur Definition der Begriffe Effektivspannung, Spitzenspannung, Maximalspannung und Scheitelspannung

Bild 2 erläutert diese Begriffe; Bild 2a zeigt eine normale Sinusspannung. Der maximale Spannungswert, gerechnet ab Nullinie, ist die Scheitelspannung Umax. Da sie nicht über die ganze Periodendauer wirkt, interessiert für praktische Berechnungen oft der Effektivwert Ueff, der an einem Ohmschen Widerstand die gleiche Leistung erzeugt wie eine im Wert von Ueff angelegte Gleichspannung. Man erhält diesen Wert, indem die von der Halbwelle bedeckte Fläche (siehe Zeichnung) in ein flächengleiches Rechteck mit gleicher Periodenlänge umgewandelt wird, wie Bild 2a punktiert andeutet. Die Höhe des Rechtecks entspricht annähernd dem Effektivwert der Spannung. Rechnerisch erfolgt diese Umwandlung (nur gültig für sinusförmige Spannung!) nach der bekannten Beziehung Umax = 1,41 · Ueff, Ueff = 0,707 · Umax. Für die 220-V-Netzwechselspannung beträgt Umax daher rund 310 V. Mechanische Spannungsmesser (alle üblichen Voltmeter) nehmen konstruktionsbedingt diese Integration immer zwangsläufig vor und zeigen daher stets den Effektivwert, was beim Ausmessen einer Vergleichsspannung (beispielsweise nach Bild 1) zu beachten ist. Darin liegt auch der Grund, weshalb die Eichung solcher Instrumente nur für sinusförmige Wechselspannung stimmt und weshalb auch die Eichung des in Teil I beschriebenen Glimmstrecken-Kalibrators mit Gleichspannung erfolgen muß. Die Definition der Spitze/Spitze-Spannung Uss ergibt sich ebenfalls aus Bild 2a; dort ist auch die rechnerische Beziehung zu den anderen Definitionen angegeben.

Weit schwieriger wird diese Umrechnung bei nicht sinusförmigen Spannungsverläufen, die nur oszillografisch exakt meßbar sind. Bild 2b zeigt, daß die Definition für Umax und Uss prinzipiell die gleiche bleibt, beide aber nicht mehr in feste Beziehung zueinander zu bringen sind. Die Definition eines Effektivwerts ist in solchen Fällen praktisch selten sinnvoll und meßtechnisch nur umständlich über eine Wirkleistungsmessung (beispielsweise mit thermoelektrischem Meßinstrument) durchführbar. Da auch der Wert für Umax von der Lage der Nullinie der Span-

nungskurve abhängt, benutzt man für Spannungsangaben bei Schirmbildern allgemein nur die Uss-Angabe. Im übrigen wäre nach Bild 2b auch der Fall denkbar, daß Umax größer ist als Uss. Das tritt dann ein, wenn der Wechselspannung eine Gleichspannung überlagert ist, deren Betrag den Wert von Uss übersteigt (Anodenspannung einer Röhre mit überlagerter Wechselspannung). In Bild 2b würde dann die Nullinie unterhalb der Kurve liegen.

Es ist deshalb sinnvoll, Vergleichsspannungsquellen (Gerät nach Bild 1 oder den Kalibrator aus Teil I sowie alle ähnlichen Geräte) grundsätzlich in Vss zu eichen. Die von der Kalibratorspannung eingeschriebene Vergleichsspannungskurve gibt dann unmittelbar die auftretenden Uss-Beträge an.

Wie bereits in Teil I unter Kapitel 2.7. begründet, empfiehlt es sich, die Vergleichsspannung mittels Simultanschalter unmittelbar in die Meßspannungskurve einzuschreiben. Der Meßvorgang wurde dort bereits geschildert. Zu beachten ist dabei, daß Meßspannung und Vergleichsspannung vom Kalibrator in ihrer Frequenz meist nicht ganzzahlig übereinstimmen werden. Da die Zeitablenkung nur mit einer der beiden Spannungen – gewöhnlich der Meßspannung – synchronisiert wird, „läuft" die andere Spannung durch das Bild oder erscheint bei größerer Frequenzdifferenz als breit auseinandergezogenes, leuchtendes Band. Bei den Aufnahmen in Teil I wurde dieser Effekt durch geeignete Wahl der Meßspannung absichtlich noch vermieden. Er soll nun in den folgenden Bildern vorgestellt werden.

Wie erläutert, müssen zunächst beide Eingänge des Simultanschalters auf gleiche Verstärkung gebracht werden, so daß sich der zu diesem Zweck über beide Eingänge abgebildete und daher doppelt geschriebene Kurvenzug der Meßspannung deckt. Bild 3 zeigt diesen Vorgang, bevor die richtige Einstellung erreicht ist. Beide Amplituden sind noch ungleich. Sobald Deckung besteht – es wird dann scheinbar nur eine Kurve geschrieben –, sind beide Verstärkungen gleich. Danach kann die Kalibratorspannung eingeschrieben werden (Bild 4). Die Meßspannung hat hier

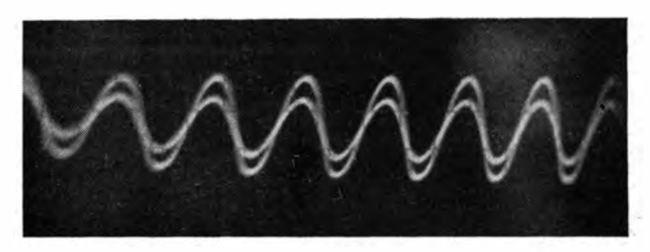


Bild 3 Zur Einstellung des Simultanschalters auf gleiche Verstärkung beider Eingänge

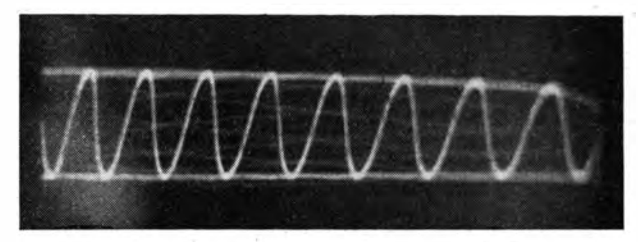


Bild 4 Ausmessen einer Sinusspannung mit Kalibrator des Simultanschalters. Der Oszillograf ist mit der Meßspannung synchronisiert; die Kalibratorspannung bildet Eichlinien über die interessierenden Amplitudenstellen. Hier wird die Spannung Spitze/Spitze gemessen

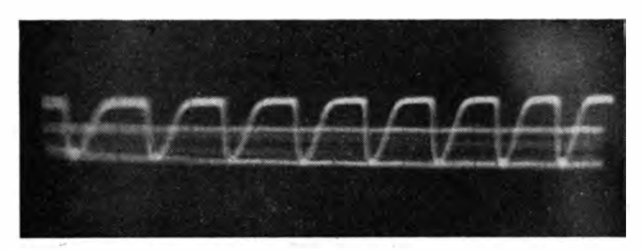


Bild 5 Ein anderes Beispiel für die Ausmessung eines Kurvenzugs mit Simultanschalter und Kalibrator

etwa 5,5 kHz betragen, die Zeitablenkfrequenz etwa 600 Hz; sie ist mit der Meßfrequenz synchronisiert worden. Die Kalibratorspannung (50 Hz) ergibt damit erstens kein stehendes Bild mehr, zweitens wird jede Periode dieser Spannung über etwa 12 Zeilenhinläufe auseinandergezogen. Wegen des geraden Kurvendaches der Kalibratorspannung (Teil I, Bilder 42 und 43) ergeben sich nun zwei helle Kanten, die der Dachhöhe entsprechen, sowie ein mehr oder weniger verwaschener „laufender" Zwischenraum, der von den Flanken der Kalibratorspannung gebildet wird und in Bild 4 noch schwach sichtbar ist. Die Dachlinien der Kalibratorspannung dienen jetzt gewissermaßen als „Meßlineale" und werden an die interessierenden Kurvenpunkte (in diesem Falle die Maximalamplitude) „angelegt". Im Oszillogramm (Bild 4) wird also der Wert für Uss gemessen. Bild 5 zeigt das Ausmessen des Werts für Umax bei einer Meßspannung gleicher Frequenz wie in Bild 4, bei der die positive Sinushalbwelle teilweise abgekappt (mit Begrenzerschaltung geclippt) ist. Für diese Messung muß natürlich bekannt sein, wo sich die Nullinie für diese Kurvenform befindet. Mit dem Simultanschalter läßt sich das sehr einfach ermitteln. Die Lage der Nullinie wird dann am Bildschirmraster angemerkt und beim Einschreiben der Kalibratorspannung eine Kante derselben auf die zuvor mittels Nullinie markierte Rasterstelle gebracht. Bei diesem Meßvorgang ist daher am Simultanschalter neben dem Kalibrator-Eichregler gleichzeitig der Nullageregler zu bedienen. Schon hier zeigt sich deutlich der Vorteil der Kombination Simultanschalter/Kalibrator. – Bei derartigen Messungen ist es natürlich ebensogut möglich, die Kippspannung mit der Kalibratorspannung zu synchronisieren. Man erhält dann das stehende Abbild der Kalibratorspannung, während die Meßspannung als leuchtendes Band oder laufendes Bild erscheint. Dann kann man natürlich nur eine Uss-Messung vornehmen. Welcher Weg günstiger ist, muß von Fall zu Fall entschieden werden. Meist erweist sich die Synchronisation mit der Meßspannung als vorteilhafter. Der zweite Weg empfiehlt sich dann, wenn die Meßspan-

nung aus unperiodischen Impulsgruppen besteht, die trotz Synchronisation kein ruhig stehendes Bild ergeben (Koronaspannungen u. ä.).

1.2. Strommessungen

Eine unmittelbare Strommessung ist oszillografisch nicht möglich. Ströme werden daher stets in proportionale Spannungen übergeführt, so daß die Strommessung als Spannungsmessung, die Errechnung des Stromes als Spannungsabfall an einem bekannten Widerstand erfolgt. Bild 6 zeigt das Prinzip. In den zu messenden Stromkreis wird ein Shunt (Rsh) eingeschaltet. Der zu messende Strom Ix erzeugt an ihm einen Spannungsabfall, der dem Y-Eingang des Oszillografen zugeführt wird. Der Wert des Shunts muß natürlich bekannt sein und richtet sich nach erwartetem Strom und zulässigem Spannungsabfall. Da letzterer nicht groß sein darf, bleibt die Meßspannung entsprechend gering. Ein Y-Meßverstärker ist immer erforderlich; daher kommt das Verfahren vorwiegend für Wechselstrommessung in Betracht. Gleichströme zwingen zur Verwendung von Gleichspannungsverstärkern oder Choppern vor dem Oszillografeneingang. Im übrigen gilt sinngemäß alles unter 1.1. Gesagte. Obwohl die Strommessung nicht gerade eine Domäne des Oszillografen ist, hat sie den Vorteil, daß damit auch die Werte für Imax und Iss (Definitionen entsprechend Bild 2) gemessen werden können.

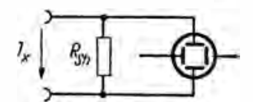


Bild 6
Prinzip der Strommessung. Der Strom Ix erzeugt am Shunt Rsh einen proportionalen Spannungsabfall, der die Meßgröße bildet

1.3. Widerstandsmessungen

Auch Widerstandsmessungen werden in Spannungsmessungen übergeführt, und zwar nach dem Prinzip des Spannungsabfalls an einem bekannten Widerstand. Bild 7 zeigt

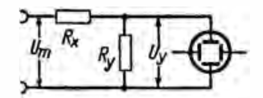


Bild 7
Prinzip der Widerstandsmessung

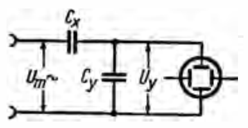
das Prinzip. Rx ist der unbekannte, Ry der bekannte Vergleichswiderstand. Weiterhin muß die Meßspannung Um bekannt sein. Es bleibt im Prinzip gleichgültig und hängt vom Oszillografen ab (siehe dazu auch unter 1.1.), ob Um eine Gleich- oder Wechselspannung ist. Soweit Rx ein reiner Wirkwiderstand ohne Blindanteile ist, eignet sich Wechselspannung besser, weil dann ohne weiteres der übliche Y-Meßverstärker (ggf. mit Kalibrator und Simultanschalter) benutzt und Um relativ klein gehalten werden kann. Andererseits läßt sich bei direktem Anschluß der Bildröhren-Ablenkplatten Ry wegen der dann fehlenden Belastung sehr groß bemessen. Wird er in der Größenordnung einiger Megohm und Um in der Größenordnung einiger Kilovolt gewählt, dann sind für Rx noch Werte von 1000 MΩ und mehr meßbar. In diesem Falle wird zweckmäßig mit Gleichspannung gearbeitet und die an Ry abfallende Spannung aus der Rasterablesung und der bekannten Ablenkempfindlichkeit der Bildröhre errechnet. Der Wert für Rx ergibt sich bei der Schaltung nach Bild 7 aus der Beziehung

$$Rx = \frac{Um \cdot Ry}{Uy} - Ry.$$

1.4. Kapazitätsmessungen

Das Verfahren für die Messung von Kapazitäten entspricht dem unter 1.3. beschriebenen. Bild 8 zeigt die Prinzipschaltung. Die bekannte Meßspannung Um muß jetzt natürlich eine Wechselspannung sein, deren Frequenz ohne Bedeu-

Bild 8
Prinzip der Kapazitätsmessung



tung ist, solange nicht mit Nebeneinflüssen durch Streu-

kapazitäten des Meßaufbaus, mit Einwirkungen der Bildröhre und des Verstärkers usw. gerechnet werden muß. Bei Direktanschluß an die Ablenkplatten ist zu beachten, daß von jeder Ablenkplatte noch ein Widerstand von 3 bis 5 MΩ gegen Anode der Bildröhre geschaltet wird, um Strahlverschiebungen durch statische Aufladung der Meßplatten zu vermeiden. Auf alle Fälle kann der Meßverstärker benutzt werden. Dieser Weg ist vorzuziehen, sofern nicht die Aufgabe besteht, sehr kleine Kapazitäten bei niedrigen Frequenzen (50 Hz) zu messen. Für kleine Kapazitäten gelten die gleichen Gegebenheiten wie unter 1.3. für hohe Widerstände. Cy ist dann möglichst klein zu halten (Achtung, dabei geht eventuell die Eingangskapazität des Meßverstärkers mit ein bzw. kann sie an Stelle von Cy treten! Durch eine Vergleichsmessung mit bekanntem Cx sollte man sie zuvor bestimmen!). In diesem Fall lassen sich vorteilhaft höhere Frequenzen (einige kHz) verwenden, da dann der Scheinwiderstand von Cy niedriger ist und sich die ihm parallelliegenden Widerstände der Ablenkplatte bzw. (je nach Schaltung) des Meßverstärkereingangs nicht mehr störend bemerkbar machen. Eine kurze Überschlagsrechnung zeigt schnell, ob die Messung bei ausreichender Genauigkeit noch mit 50 Hz durchgeführt werden kann. Für die Messung kleiner Cx-Werte ist für Um wieder eine Spannung von einigen Kilovolt erforderlich, falls die Bildröhre direkt angeschlossen wird. Im übrigen gilt ebenfalls sinngemäß das unter 1.3. Gesagte. Cx errechnet sich zu

$$Cx = \frac{Uy}{Um - Uy} Cy.$$

Uy wird entsprechend Abschnitt 1.1.2. gemessen. Grundsätzlich meßbar sind Kapazitäten bis herab zu 1 pF und weniger!

2. Frequenzmessungen

Frequenzmessungen gehören zu den wichtigsten und häufigsten oszillografischen Meßaufgaben. Diese Messungen sind stets Frequenz*vergleiche*, abgesehen von einem sehr selten benutzten und für die Amateurpraxis uninteressanten, in [1] beschriebenen Verfahren mit Absolutanzeige. Daher ist stets eine Vergleichsfrequenz (Frequenznormal) notwendig, die im Hinblick auf die Besonderheiten der einzelnen Verfahren möglichst durchstimmbar sein sollte. In Frage kommen der durchstimmbare Tongenerator oder, für höhere Frequenzen, der HF-Meßsender, als Festfrequenznormale auch Quarzgeneratoren (hier werden die Quarze mit 100 kHz Schwingfrequenz und darunter wertvoll!). Als einfache und doch vielseitige Möglichkeit erweist sich auch die 50-Hz-Netzfrequenz, die bedarfsweise während der Messung ihrerseits mit einem üblichen Zungenfrequenzmesser recht genau kontrolliert werden kann. Wird sie z. B. zur sekundären Frequenzkontrolle eines Eigenbau-Tongenerators benutzt, so sind selbst mit billigen Amateurgeräten verblüffend genaue NF-Frequenzmessungen bis in das Ultraschallgebiet durchführbar.
Eine besonders wichtige Eigenschaft der oszillografischen Frequenzmessung ist die dabei grundsätzlich erreichbare Absolutgenauigkeit, die lediglich von Ablesegenauigkeit und Auswertung des Schirmbilds sowie der Genauigkeit der Vergleichsfrequenz abhängt. Da die Ablese- und die Auswertegenauigkeit konstant bleibt, steigt die erreichbare Meßgenauigkeit mit der Frequenz und übertrifft schon bald jedes andere Frequenzmeßverfahren. Durch ein entsprechendes Frequenznormal, mit extremer Kurzzeitkonstanz vorausgesetzt, könnte die Meßgenauigkeit – vom Oszillografen her gesehen – auf Werte von 10^{-9} und besser (entspricht $\pm$ 0,1 Hz bei 100 MHz!) gebracht werden. Praktisch scheitert das nur am Fehlen ausreichend genauer Ver-

gleichsfrequenzen. Im allgemeinen wird dem unter 2.1. beschriebenen Verfahren der Vorzug gegeben; jedoch sind die unter 2.2. und 2.4. genannten Methoden oftmals bei ausreichender Genauigkeit im Zusammenhang mit anderen Messungen schneller und bequemer anzuwenden, besonders wenn die in Teil I genannten Geräte zur Verfügung stehen. Man wird also je nach Meßaufgabe, nach Anforderungen an das Ergebnis und nach vorhandenen Arbeitsbedingungen den günstigsten Weg wählen.

2.1. Frequenzvergleich nach dem Lissajousschen Verfahren

Bild 9 zeigt die Prinzipschaltung; f 1 ist die unbekannte, f 2 die Vergleichsfrequenz. Beide schließt man an den Y- bzw. X-Eingang des Oszillografen an. Eine Zeitablenkung wird nicht benötigt; der Kippgenerator ist daher abzu-

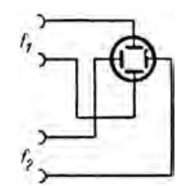


Bild 9
Prinzip des Frequenzvergleichs nach Lissajous

schalten. Stehen die Frequenzen nur mit geringer Spannung zur Verfügung, so sind für beide Eingänge Meßverstärker erforderlich. Da der Meßverstärker für den X-Eingang häufig fehlt, empfiehlt es sich, die unbekannte Frequenz an den Y-Eingang, die Vergleichsfrequenz (die entweder dem Generator mit ausreichender Spannung entnehmbar ist oder mit geeignetem Verstärker nachverstärkt werden kann) an den X-Eingang zu legen. Beide Frequenzen sollen an den Ablenkplatten mit etwa gleicher Amplitude auftreten und dort eine gut erkennbare Auslenkung (etwa $1/3$ bis $1/2$ der gesamten Schirmbreite) bewirken. Die Vergleichsfrequenz soll in der Größenordnung der unbe-

kannten Frequenz liegen und muß am Generator fein einstellbar sein. Der Meßwert wird an der Frequenzeichung des Generators abgelesen, der damit unmittelbar die Meßgenauigkeit bestimmt.
Eine der Frequenzen lenkt den Leuchtpunkt vertikal ab, die andere horizontal. Es kommt bei gleichzeitiger Einwirkung beider Frequenzen dann zu charakteristischen, schleifenförmigen Figuren, die nur dann stillstehen, wenn beide Frequenzen ein genau ganzzahliges Vielfaches zueinander aufweisen. Der Meßvorgang besteht also darin, die Schirmbildfigur zum „Stehen" zu bringen, indem die Vergleichsfrequenz langsam verstellt wird. Danach kann die Auswertung des Schirmbildes erfolgen. Sie ist bis zu einem gewissen Grad Erfahrungssache und geht nach einiger Übung sehr schnell. Das ist wesentlich, da man infolge kurzzeitiger Schwankungen beider Frequenzen das Bild besonders bei höheren Frequenzen oft nur wenige Augenblicke zum Stillstand bringen kann bzw. der Vergleichsgenerator zu diesem Zweck ständig um winzige Beträge nachgeregelt werden muß.
Das Aussehen der Figur hängt auch von der gegenseitigen Phasenlage der Frequenzen im Stillstandsmoment ab und ist daher meist zufällig. Es läßt jedoch einen eindeutigen Rückschluß auf das Verhältnis beider Frequenzen zueinander zu, solange dieses nicht zu hoch (je nach Schirmbildgröße 1 : 3 bis 1 : 8) ist. Da man die Vergleichsfrequenz kennt (am Generator ablesbar), kann daraus auf die unbekannte Frequenz umgerechnet werden. Die Bildbeispiele

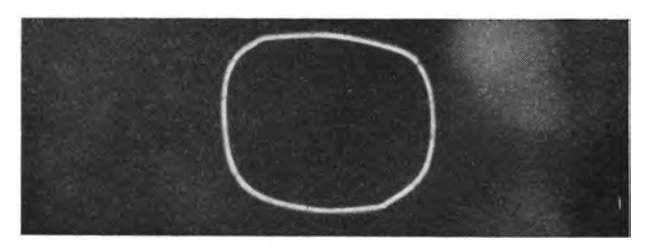


Bild 9a Frequenzverhältnis f1 : f2 = 1 : 1; Phasenlage etwa 90°

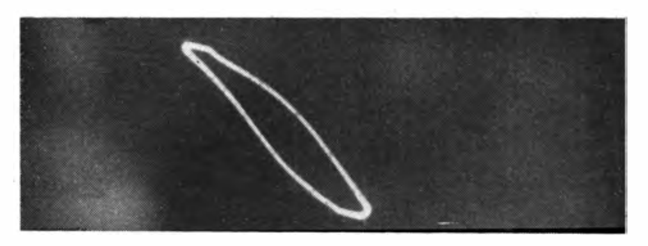


Bild 10 Ebenfalls 1 : 1; andere Phasenlage (nahe 180°)

zeigen die Auswertung. Die übersichtlichste Form ergibt sich beim Frequenzverhältnis 1 : 1. Je nach Phasenlage beider Frequenzen wechselt sie zwischen einem Kreis (Bild 9a, entsprechend 90° Phasenverschiebung), einer mehr oder weniger schmalen Ellipse (Bild 10, bei Phasenverschiebungen größer oder kleiner als 90°, Ellipse rechtsgeneigt oder linksgeneigt) und einem von links oben nach rechts unten (180°) bzw. von rechts oben nach links unten (0°) geneigten Strich. Bei geringen Frequenzunterschieden durchläuft die Kreisfigur diese Formen mit dem Zeitmaß der Frequenzdifferenz (bei 1 Hz Differenz also einmal je Sekunde, bei 0,5 Hz Differenz einmal in 2 Sekunden). Bei hohen Frequenzen sollte versucht werden, das Verhältnis 1 : 1 der beiden Frequenzen zu erzielen, da die zum Stillstand der Figur erforderliche geringe Differenz in diesem Fall schwer erreichbar ist. Die charakteristische Kreisfigur nach Bild 9a ist jedoch auch dann erkennbar, wenn man sie nur Bruchteile von Sekunden sieht. Damit aber wurde der Nachweis für ein Frequenzverhältnis 1 : 1 erbracht. Die Bestimmung der folgenden, komplizierteren Figuren ist jedoch bei nur sehr kurzzeitig stehenden Bildern kaum eindeutig möglich.

Bei einem Frequenzverhältnis f 1 : f 2 = 2 : 1 (vgl. Bild 9) erhält man eine Figur entsprechend Bild 11. Deutlich ist erkennbar, daß die an Y liegende Frequenz f 1 zwei Perioden durchläuft (zweimalige Ablenkung nach oben und unten), während f 2 eine Periode horizontal ausführt. Bei anderer Phasenlage ergibt sich im gleichen Falle eine Figur

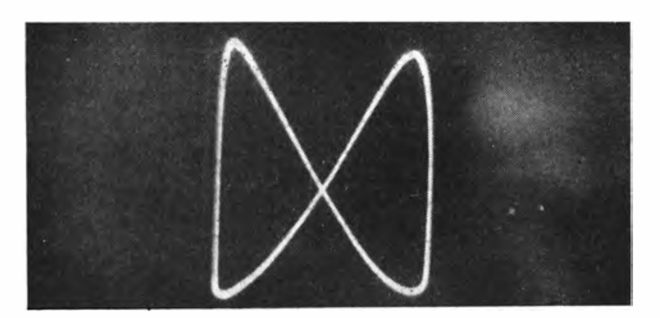


Bild 11 Frequenzverhältnis $f1 : f2 = Y : X = 2 : 1$

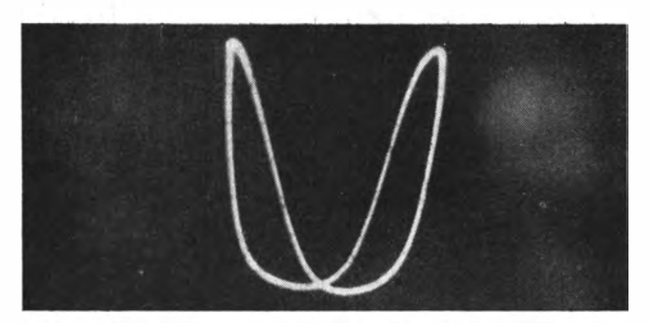


Bild 12 Wie Bild 11; andere Phasenlage

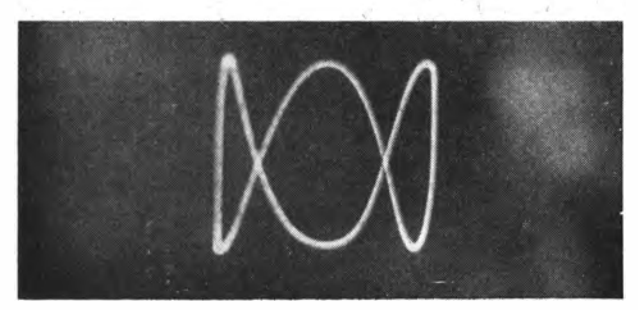


Bild 13 $Y : X = 3 : 1$

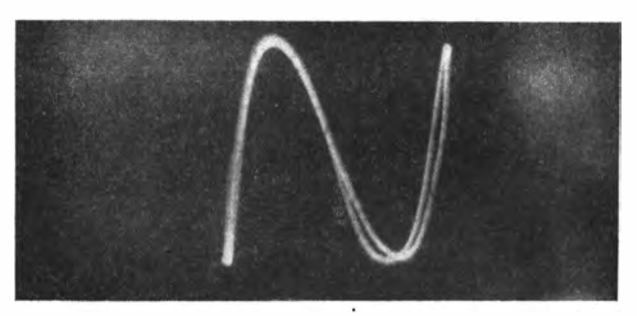


Bild 14 Wie Bild 13; andere Phasenlage (ungeeignet für Auswertung)

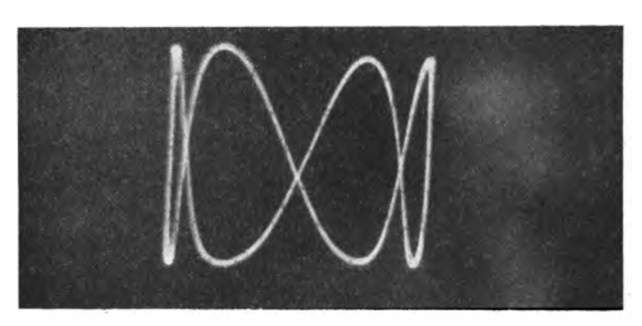


Bild 15 Y : X = 4 : 1

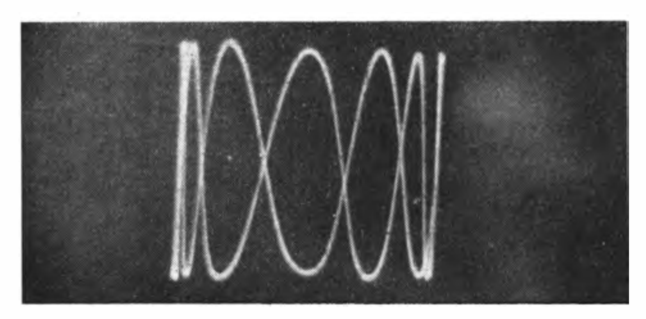


Bild 16 Y : X = 7 : 1 (das Verhältnis ist für genaue Auswertung bereits zu hoch)

gemäß Bild 12; diese Figur kann auch mit der „Knotenstelle" oben auftreten. Zwischen diesen Formen wandert die Figur wieder mehr oder weniger schnell, wenn noch geringe Frequenzdifferenzen in der Größenordnung 1 Hz bestehen. – Bild 13 zeigt die gleiche Figur bei einem Verhältnis f 1 : f 2 = 3 : 1, Bild 14 wieder eine andere, für die Auswertung ungünstigere Phasenlage, Bild 15 schließlich das Verhältnis f 1 : f 2 = 4 : 1 und Bild 16 die gleiche Figur für f 1 : f 2 = 7 : 1. Dieses Verhältnis liegt schon hart an der Grenze des praktisch Auswertbaren und sollte nicht angewendet werden. Die Bilder lassen erkennen, worauf es bei der Auswertung ankommt: Es muß ausgezählt werden, wieviel Perioden die eine Schwingung im Zeitraum einer Periode der anderen ausführt. Man kann zu diesem Zweck entweder die Leuchtspur-„Kreuzungspunkte" auszählen, wenn die Figur entsprechende Phasenlage hat. Dann ist jedoch den gezählten Kreuzungen stets eine hinzuzurechnen, die den sich im Bild nicht kreuzenden, äußeren Schlingen der Figur entspricht. In den Bildern 9a und 10 ist keine Kreuzung vorhanden; dazugerechnet 1, ergibt Verhältniszahl 1. Bilder 11 und 12: Kreuzung 1, dazu 1, entspricht Verhältniszahl 2. Bild 13: Kreuzungen 2, dazu 1, ergibt Verhältniszahl 3. Aus Bild 15 ersieht man demgemäß Verhältniszahl 4, und Bild 16 – hier sind die Kreuzungen wegen der Zusammendrängung an den Figurenenden bereits nicht mehr genau zählbar – ergäbe 6 Kreuzungen und damit Verhältniszahl 7. Wichtig ist auch, daß ausgezählt wird, wenn die Kreuzungen einigermaßen in Figurenmitte stehen, weil sie sonst sehr schwer erkennbar sind, wie bereits die einfache Figur in Bild 12 zeigt. Da das sichere Auszählen eine gewisse Zeit benötigt, eignen sich komplizierte Figuren nur für niedrigere Frequenzen (bis zu einigen Kilohertz), um sie genügend lange im Stillstand halten zu können. Eine andere Möglichkeit des Auszählens besteht darin, die Scheitelpunkte der Figur zu zählen. Sie geben unmittelbar die Verhältniszahl an: In den Bildern 11 und 12 sind 2 Scheitel sichtbar (es wird nur eine Figurenkante ausgezählt), in Bild 13 – 3, in Bild 15 – 4, in Bild 16 lassen

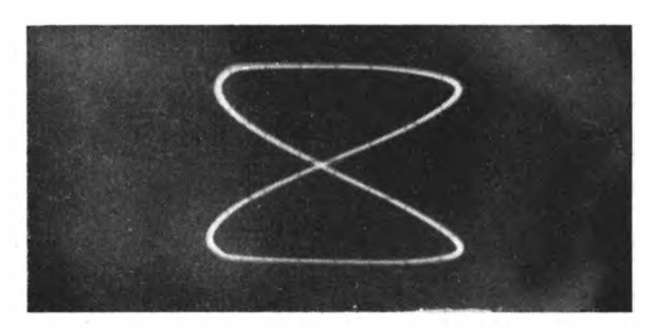


Bild 17 Y : X = 1 : 2

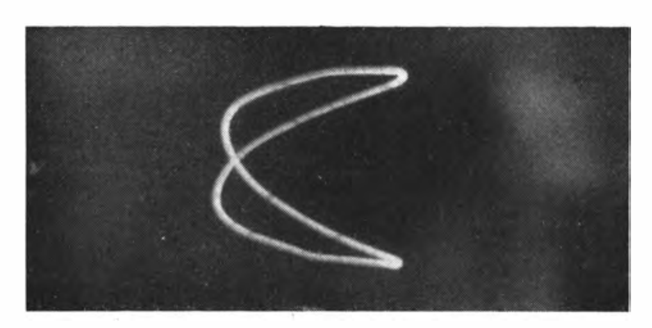


Bild 18 Wie Bild 17; andere Phasenlage

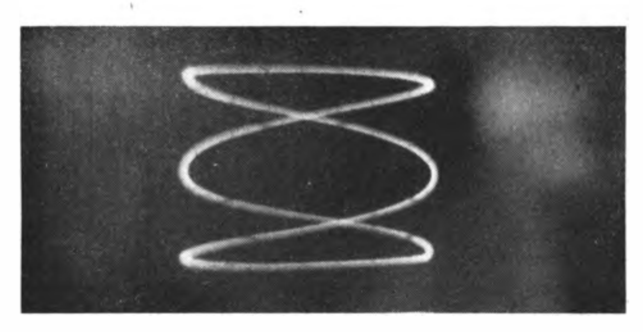


Bild 19 Y : X = 1 : 3

sich gerade noch 7 Scheitel mit einiger Sicherheit auszählen. Auch für diese Zählweise müssen die Kreuzungspunkte der Figur etwa in der Mitte sitzen. Phasenlagen nach Bild 14 (entspricht dem Verhältnis Bild 13) eignen sich in keiner Weise zur Auswertung. Zu bedenken ist dabei, daß diese Figuren selten längere Zeit stillstehen, sondern mehr oder weniger schnell und oft sprunghaft ineinander übergehen. Kehrt sich das Verhältnis beider Frequenzen um, so erscheinen die gleichen Figuren um 90° gedreht. Auch dafür einige Beispiele: Bild 17 zeigt das Verhältnis f 1 : f 2 = 1 : 2 (vgl. Bild 11 für 2 : 1), Bild 18 das gleiche in anderer Phasenlage (Parallelfall zu Bild 12), Bild 19 entspricht f 1 : f 2 = 1 : 3 (vgl. Bild 13 für 3 : 1), und Bild 20 zeigt das gleiche Verhältnis in einer für die Auswertung ungünstigen Phasenlage analog Bild 14. Es kommt also darauf an, bei der Messung die Vergleichsfrequenz langsam der Meßfrequenz zu nähern, bis sich Anzeichen für ein stehendes Bild zeigen. Aus Lage und Kreuzungszahl der Figur erkennt man dann nach einiger Übung sofort, wie das ungefähre Verhältnis ist und ob die Vergleichsfrequenz höher oder tiefer liegt als die Meßfrequenz. Man versucht dann, eine möglichst einfache Figur in günstiger Lage zum Stehen zu bringen, um sie auszuzählen. Das Ganze hängt letzten Endes von der Feinregulierbarkeit des Vergleichsgenerators und dessen Konstanz sowie von der Aufmerk-

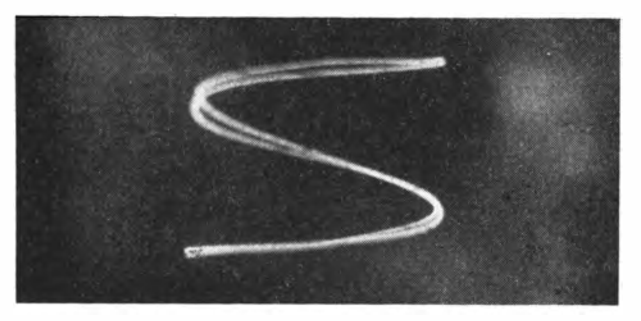


Bild 20 Wie Bild 19; andere Phasenlage (für Auswertung ungünstig)

samkeit des Bedienenden ab. Für die Auswertung komplizierterer, nur kurzzeitig stehender Figuren leistet fotografische Registrierung ausgezeichnete Dienste. Anwendbar ist das Verfahren im wesentlichen bei allen annähernd sinusförmigen Spannungen. Unsaubere Sinuskurven ergeben „verbogene" Bilder, die jedoch auch bei stärkerer Verformung noch auswertbar sind. Selbst wenn eine der Schwingungen nahezu rechteckförmig (bei nicht zu großer Flankensteilheit) ist, ergeben sich noch auswertbare Figuren, die dann ein spalier- oder leiterähnliches Aussehen haben. Der merklich „verbeulte" Kreis in Bild 9a sowie die gleichfalls nicht ebenmäßige Ellipse in Bild 10 entstanden, weil eine der beiden Frequenzen die stark oberwellenhaltige Netzfrequenz war.

2.2. Frequenzvergleich mit Hellmarken

Ein dem Praktiker möglicherweise sympathischeres Verfahren, das allerdings nur für nicht allzu hohe Frequenzen (vorwiegend NF-Bereich) geeignet ist, ist das Einschreiben von Hellmarken über den Hellsteueranschluß des Oszillografen.

Das Prinzip der Hellsteuerung wurde in Teil I bereits behandelt. Bild 21 zeigt die prinzipielle Meßschaltung. Die unbekannte Frequenz f 1 wird dem Y-Eingang zugeführt und normal abgebildet, die X-Platten erhalten vom Kippteil zu diesem Zweck die mit f 1 synchronisierte Zeit-

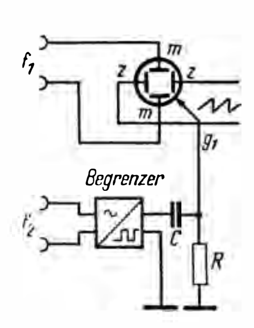


Bild 21
Meßschaltung für Frequenzmessung mit Hellmarken-Einblendung

ablenkspannung. Die Vergleichsfrequenz f 2 wird – falls sie wie üblich als Sinusspannung zur Verfügung steht – mit einer Begrenzerschaltung (vgl. hierzu Teil I) in eine Rechteckspannung von einigen Vss umgewandelt und dieses Rechteck anschließend mit dem Differenzierglied C/R in einen Nadelimpuls. Die Dimensionierung des Differenzierglieds richtet sich dabei nach der Frequenz von f 2 und kann nach Versuch auf gut sichtbare scharf abgegrenzte Hellmarken geschehen. Die an R abnehmbaren Nadelimpulse beider Polarität werden dem Steuergitter (g 1) der Bildröhre zugeführt und bewirken dort eine abwechselnde Hell- und Dunkeltastung. Der Abstand von Leuchtpunkt zu Leuchtpunkt ist dann gleich einer Periode der (bekannten) Frequenz f 2; durch Auszählen der Leuchtpunkte über genau eine Periode der abgebildeten Meßspannung läßt sich damit deren Frequenz bestimmen. Wie zu erkennen ist, muß die Vergleichsfrequenz in diesem Falle ein Mehrfaches der unbekannten Frequenz betragen. Sie wird so eingestellt, daß die Leuchtpunkte auf der Meßkurve stehen – bei geringen Frequenzdifferenzen wandern sie langsam, so daß ein genaues Auszählen auf eine Periode der Meßspannung kaum gelingt. Darin liegt einer der Mängel dieses Verfahrens. Die Meßgenauigkeit hängt von der Auszählgenauigkeit und diese wieder stark von der Wahl einer günstigen Anzahl von Leuchtpunkten je Periode ab. Die abgebildete Kurve ähnelt dann einer leuchtenden „Perl-

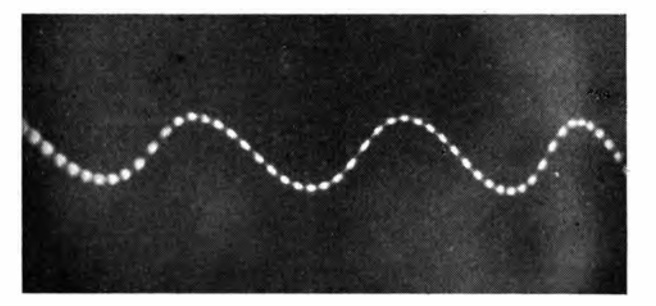


Bild 22 Mit Hellmarken versehene Sinuskurve („Perlschnurkurve")

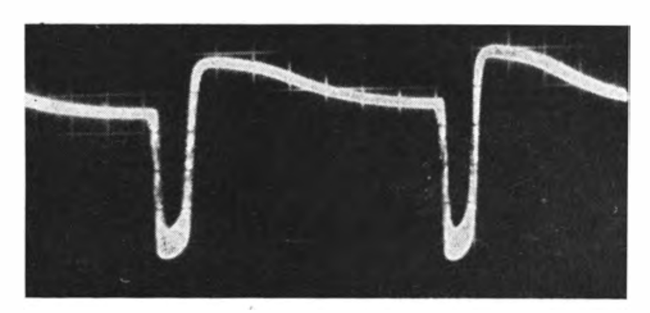


Bild 23 Grundschwingung des Transistor-Prüfgenerators Tobitest 2 (VEB *Meßelektronik,* früher VEB *Werk für Fernmeldewesen,* Berlin). In der negativen Impulsspitze tritt eine HF-Schwingung auf, die zur scheinbar vertikalen Verbreiterung der Impulsspitze führt (s. auch Bild 24)

schnur" (Bild 22, Frequenzverhältnis f 1 : f 2 = 1 : 18; f 2 betrug 9 kHz, daraus ergibt sich f 1 zu 500 Hz). Dagegen ist dieses Verfahren recht gut zur Frequenzbestimmung einzelner Schwingungen in zusammengesetzten Kurvenformen (z. B. der Frequenz von Überschwingerscheinungen in Rechteck-Impulsdächern, wie beispielsweise Bild 58) geeignet. Dies sei am Beispiel einer komplizierten Meßaufgabe, wie sie in der Praxis aufgetreten ist, erläutert.
Bild 23 zeigt die Schwingungsform des bekannten Transistor-Taschenprüfgenerators *TOBITEST 2 (VEB Meßelektronik,* früher *VEB Werk für Fernmeldewesen,* Berlin), der eine kombinierte HF-NF-Schwingung abgibt und nach dem Sperrschwingerprinzip arbeitet. Die abgegebene Spannungsform erscheint als negative Nadelimpulsfolge. Die Impulsfrequenz (sie entspricht der abgegebenen NF-Spannung) hat in diesem Fall bei etwa 500 Hz gelegen. Jeweils im Moment des negativen Spannungsimpulses gibt der Generator noch einen dieser Spannungsspitze überlagerten HF-Impuls ab, dessen Vorhandensein bereits in Bild 23 deutlich an der vertikalen Verdickung der Impulsspitze sichtbar ist. Die Frequenz dieser HF-Schwingung sollte oszillografisch bestimmt werden. Dazu mußten zunächst die Kippfrequenz (in Bild 23 das 0,5fache der Nadelimpulsfrequenz) auf das

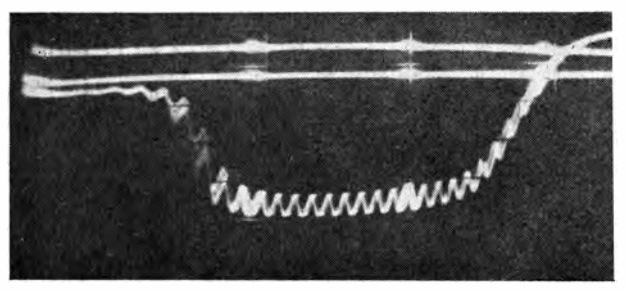


Bild 24 Die zeitgedehnte Impulsspitze aus Bild 23 mit in 10-kHz-Abstand eingeblendeten Hellmarken. Hierzu ergibt sich die HF-Schwingung zu 95 kHz

3fache der Nadelimpulsfrequenz erhöht und außerdem die X-Ablenkspannung so weit vergrößert werden, daß das Bild beträchtlich über die Bildränder hinausgeschrieben wurde (Lupenwirkung; s. auch Teil I). Damit gelang es bereits, den Nadelimpuls befriedigend aufzulösen. Die in der Impulsspitze „verborgene" HF-Schwingung ist in Bild 24 deutlich zu sehen; gut erkennbar ist auch das allmähliche Anschwingen des HF-Generators unmittelbar vor der Vorderflanke des NF-Impulses. Die Synchronisation des Oszillografen war hier bereits kritisch, da wegen der (gegenüber Meßfrequenz) dreimal höheren Kippfrequenz nur jeder dritte Strahlhinlauf synchronisiert war. Zusätzlich wurden nun in der beschriebenen Weise Hellmarken mit einer vom Tongenerator gelieferten Frequenz von 10 kHz und einer Nadelbreite von 10 μs eingeschrieben. Wie sich mit genügender Genauigkeit auszählen läßt, entfallen auf eine Periode der Meßspannung (Hellmarke zu Hellmarke) gerade $9^1/_2$ HF-Schwingungen; die gesuchte Frequenz betrug also 95 kHz.*

* Erwähnt sei, daß die für ein genaues Auszählen erforderliche Fotoaufnahme (der HF-Schwingungszug ist ja wenig phasenkonstant und daher also relativ zu Hellmarken und NF-Impuls in dauernder Bewegung, was auch am *jittering* der Vorderflanke deutlich sichtbar ist) deshalb besonders schwierig war, weil es darauf ankam, für die Aufnahmedauer – wenige Zehntelsekunden – drei freilaufende Generatoren, nämlich Prüfobjekt, Vergleichs-Tongenerator und in gewissem Grade auch den Oszillografen-Kippgenerator von Hand synchron zu halten. Das gelang erst nach mehreren Versuchen.

Übrigens ist dieses Beispiel geeignet, das Zusammenwirken der in Teil I beschriebenen Geräte zu zeigen. Benutzt wurden der dort behandelte Impulsgenerator und Impulsformer, wobei der Rechteckgenerator vom Tongenerator synchronisiert war und der Impulsformer das vom Generator gelieferte, also frequenzkonstante 10-kHz-Rechteck als positive 10-kHz-Nadel abgab. Damit erübrigte sich der Bau eines besonderen Begrenzer- oder Differenzierglieds. Da der Impulsformer nur Nadeln jeweils einer Polarität abgibt, fehlen in Bild 24 auch die sonst zu erwartenden Dunkelmarken. Unmittelbar nach dieser Messung wurde dann noch mit Simultanschalter die Spannung Uss sowohl des NF-Impulses (Bild 23) als auch des HF-Schwingungszugs innerhalb der Impulsspitze (Bild 24) zu 1,5 V bzw. 0,2 V ausgemessen. Alle diese Messungen konnten ohne Änderung des Meßaufbaus in einem Arbeitsgang erledigt werden.

2.3. Frequenzvergleich mit Simultanschalter

Auch dieses Verfahren ist auf den Frequenzbereich bis etwa 100 kHz begrenzt; die Vergleichsfrequenz sollte etwa in der Größenordnung der unbekannten Frequenz liegen. Das Verfahren ist mit einem Simultanschalter besonders einfach und ohne zusätzlichen Aufwand schnell durchzuführen. Bild 25 zeigt die Prinzipschaltung. Im wesentlichen besteht der Frequenzvergleich darin, daß mit dem Simultanschalter die unbekannte und die Vergleichsfrequenz entweder über- oder ineinander abgebildet werden. Die Kippfrequenz wird mit der unbekannten Frequenz synchronisiert (f 1 am Eingang Y 1 des Simultanschalters) und danach die Vergleichs-

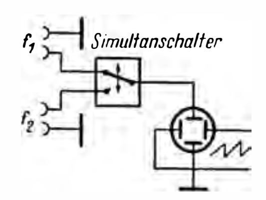


Bild 25
Prinzipschaltung zum Frequenzvergleich mittels Simultanschalters

frequenz so eingeregelt, daß sie bei möglichst gleicher Periodenzahl mit der Meßspannung ebenfalls ein stehendes Bild ergibt. Durch Auszählen der auf eine Periode der Meßspannung entfallenden Vergleichsspannungsperioden oder umgekehrt (wenn die Vergleichsfrequenz niedriger ist als die Meßfrequenz) wird die Frequenz der Meßspannung ermittelt. Günstig erweist sich dieses Verfahren ebenso wie das unter 2.2. angegebene für die Frequenzbestimmung nichtsinusförmiger oder impulsförmig auftretender Meßspannungen. Eine bedienungstechnische Schwierigkeit besteht, ebenso wie beim *Lissajousschen* Verfahren, darin, über die zum Auszählen erforderliche Zeitdauer einen ruhigen Bildstand der Vergleichsfrequenz zu erreichen, zumal dabei mit Hilfe des Bildschirmrasters auf genau übereinstimmende Phasenlage der Nulldurchgänge beider Spannungen zu achten ist. Zusätzlich zu den schon in Teil I beim Simultanschalter gegebenen Hinweisen soll das Meßverfahren noch weiter veranschaulicht werden. Bild 26 zeigt oben die vom Tongenerator gelieferte Vergleichsfrequenz, darunter die unbekannte Meßfrequenz. Durch Verstellen des Nullagereglers werden beide Kurven

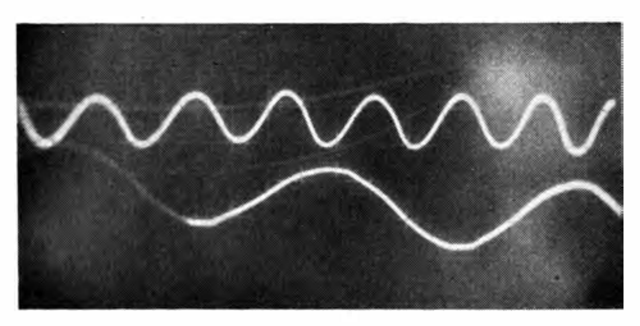


Bild 26 Frequenzvergleich mit Simultanschalter. Unbekannte und Vergleichsfrequenz werden gleichzeitig abgebildet. Die Aufnahme enthält einen fototechnischen Fehler: Die Kameraverschlußzeit war etwas kürzer als die Dauer beider Ablenkperioden. Von der unteren Kurve wurde daher der Anfang nicht registriert. Er zeigt noch ein schwaches Nachleuchten vom vorhergehenden Hinlauf (s. dazu Kapitel 7.)

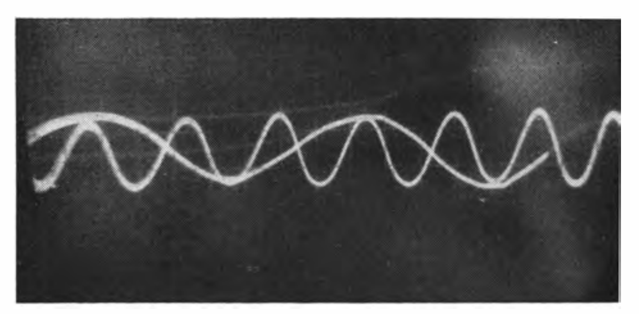


Bild 27 Frequenzvergleich mit Simultanschalter. Für die Auswertung ist es günstiger, die beiden Kurven aus Bild 26 ineinanderzuschreiben. Es ergibt sich f1 : f2 = 1 : 3, da jeder dritte Kurvenscheitel der höheren Frequenz mit einem Scheitel der tieferen Frequenz zusammenfällt

übereinander abgebildet. Diese Einstellung empfiehlt sich vom Beginn bis zum Erreichen des Stillstands beider Kurven. Zur genauen Auswertung werden danach mit dem Nullageregler beide Kurven ineinandergelegt und mit den Y-Eingangsreglern am Simultanschalter auf gleiche Amplitude gebracht (Bild 27). Man vergleicht die Phasenlagen zueinander – falls beide Spannungen wie in diesem Fall sinusförmig sind – zweckmäßig nicht bei den Nulldurchgängen, sondern bei den Scheitelwerten, deren Berührungspunkte bei beiden Kurven eindeutig sichtbar sind.
Die Auszählung ergibt in Bild 27 drei Perioden der Vergleichsspannung je Periode der Meßspannung. Da die Vergleichsspannung mit 150 Hz am Generator abgelesen wurde, muß die Meßspannung eine Frequenz von 50 Hz aufweisen (es handelte sich in diesem Fall um die Netzspannung). Nebenbei sei erwähnt, daß auf diesem Wege auch umgekehrt eine Kontrolle der Tongenerator-Eichung durch Vergleich mit der Netzspannung möglich ist. Dabei kann man die Netzspannung mit einem Zungenfrequenzmesser noch genau kontrollieren. Auf diese Weise läßt sich unmittelbar vor einer anderen Messung der Vergleichsgenerator ohne besonderen Aufwand prüfen; eine Möglichkeit, die gerade für Eigenbaugeneratoren wertvoll ist.

Bild 26 enthält übrigens einen bei der fotografischen Registrierung entstandenen kleinen Fehler: den teilweise unterdrückten Anfang des unteren Kurvenzugs infolge etwas zu kurzer Belichtungszeit (Verschlußöffnungszeit der Kamera). Das vom vorhergehenden Kurvenzug herrührende geringe Nachleuchten der Spur ist noch gut erkennbar. Auf diese Zusammenhänge wird in Kapitel 7. noch eingegangen.

2.4. Frequenzvergleich mit der Kippfrequenz des Oszillografen

Eine sehr einfache Möglichkeit, die außer einem Tongenerator keine Zusatzgeräte erfordert und besonders für einfache Oszillografen und für schnelle, überschlägige Frequenzbestimmungen geeignet ist, ergibt sich aus dem Vergleich der Meßspannung mit der Kippspannung des Oszillografen selbst. Hochwertige Oszillografen haben übrigens häufig geeichte Kippfrequenzregler; diese Eichungen erweisen sich jedoch – da sie gewöhnlich nur zur groben Orientierung gedacht sind – selten als genau genug, um mit ihrer Hilfe Frequenzbestimmungen durchzuführen. Davon sei daher grundsätzlich abgeraten. – Die Eigensynchronisation des Oszillografen wird abgeschaltet und dieser über den Anschluß „Fremdsynchronisation" direkt vom Vergleichsgenerator synchronisiert. Zuvor muß man mit dem Kippfrequenzregler versuchen, ohne jede Synchronisation die Kippfrequenz möglichst in die Nähe der Meßfrequenz (Abbildung von 2 od. 3 Meßspannungsperioden) zu bringen. Die Synchronisierspannung vom Vergleichsgenerator muß dann so gering gehalten werden, daß eine Synchronisation nur in Nähe der Frequenz des freilaufenden Kippgenerators erfolgt. Bei zu starker Synchronisation kann es sonst zur Synchronisation der Kippfrequenz auf ein Mehrfaches oder auf einen Bruchteil der Vergleichsfrequenz kommen, was zur Fehlmessung führt. Mit dem Vergleichsgenerator wird der Kippgenerator so synchronisiert, daß sich wiederum ein stehendes Bild der Meßspannung ergibt. Die Anzahl der abgebildeten Perioden kenn-

zeichnet dann die Frequenz der Meßspannung. Das Verfahren eignet sich bei einem Oszillografen mit entsprechender Auslegung des Kippgenerators auch für höhere Frequenzen bis zu einigen 100 kHz. Wie bei allen Frequenzvergleichsverfahren wird auch in diesem Fall das Einstellen eines ruhigen Bildstands über ausreichende Zeit mit höherer Frequenz immer schwieriger.

3. Phasenmessungen

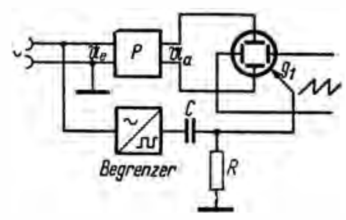
Phasenmessungen sind in der Praxis ebenfalls stets Vergleichsmessungen, wobei die Phasenlage einer Spannung oder eines Stromes in bezug auf eine andere Spannung oder einen anderen Strom gleicher Frequenz interessiert. Anwendungen ergeben sich außer beim Sendeamateur im Rahmen der SSB-Sendetechnik auch in der allgemeinen Elektrotechnik (Ermittlung des Leistungsfaktors durch Messung der Phasenverschiebung zwischen Spannung und zugehörigem Strom), bei der NF-Technik (Stereo-Anlagen) und Breitband-Verstärkertechnik sowie in vielen anderen Fällen. Soweit es sich dabei um die Ermittlung des phasendrehenden Einflusses von Übertragungsgliedern handelt, erfolgt die Messung durch Phasenvergleich der Spannungen am Eingang und Ausgang des Prüflings. Soweit es sich um die Messung einer Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung handelt, wird vom Strom eine zweite, ihm proportionale Spannung abgeleitet (Prinzip nach Bild 6) und diese mit der ersten verglichen. Bei einer solchen Schaltung muß dann beachtet werden, daß der Shunt Rsh wesentlich kleiner als der Verbraucherwiderstand sein muß, da er sonst eine merkliche zusätzliche Phasendrehung einbringen kann.

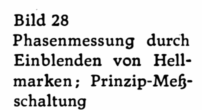
Im folgenden werden drei zum Phasenvergleich geeignete Verfahren behandelt. Sie haben äußerlich und besonders in ihren Schirmbildern gewisse Ähnlichkeit mit den Frequenzvergleichsverfahren des vorigen Kapitels, dürfen aber nicht damit verwechselt werden. Die Durchführung der Phasenmessung ist wesentlich leichter als die der Frequenzmessung, da keine Bildstandsprobleme auftreten. Bei sorgfältiger Auswertung sind besonders mit dem unter 3.2. genannten Verfahren Meßgenauigkeiten in der Größenordnung von 1° erreichbar. Es muß jedoch stets darauf geachtet werden, daß der Eingangsscheinwiderstand des Oszillo-

grafen wesentlich größer ist als der Quellwiderstand des Prüflings am Meßpunkt, da sonst durch den Anschluß des Oszillografen beträchtliche Meßfehler infolge zusätzlicher Phasenverschiebungen entstehen können. Für genaue Messungen wird man diese Einflüsse von Fall zu Fall an Hand der Eingangsdaten des Oszillografen und der Eigenschaften des Prüflings näher abschätzen müssen. Andererseits werden extreme Genauigkeiten gerade bei der Phasenmessung in der Amateurpraxis nur selten gebracht.

3.1. Phasenmessung durch Einblendung von Hellmarken

Die Erzeugung von Hellmarken wurde im Teil I bereits beschrieben. Eine Sinusschwingung wird durch Begrenzung in ein Rechteck und dieses durch Differentiation in einen Nadelimpuls umgewandelt. Dieser Nadelimpuls fällt dann zwangsläufig mit dem Nulldurchgang der Sinuskurve zusammen (s. Bild 36 und 40, Teil I). Führt man ihn dem Hellsteueranschluß eines Oszillografen zu, auf dessen Bildröhre gleichzeitig die ursprüngliche Sinusschwingung abgebildet wird, so markieren die abwechselnd in die Kurve eingeblendeten Hell- und Dunkelmarken exakt die Nulldurchgänge der Schwingung. Dies gilt unter einer Voraussetzung: Die Sinusschwingung darf von der Anschlußstelle des Begrenzers ab bis zu den Ablenkplatten der Bildröhre keine Phasenverschiebung erhalten. Andernfalls ist sie gegen die Lage der Hellmarken zeitlich versetzt, und die Marken treffen dann nicht mehr zeitlich zugleich mit dem Kurven-Nulldurchgang bei der Bildröhre ein. Diese Tatsache wird nun bewußt ausgenutzt. Bild 28 zeigt die Meß-




Bild 28
Phasenmessung durch Einblenden von Hellmarken; Prinzip-Meßschaltung

anordnung. Eine Sinusschwingung mit der Frequenz, für die die Phasenverschiebung des Prüfobjekts P bestimmt werden soll, wird dem Prüfling als Eingangsspannung Ue zugeführt. Parallel zum Eingang greift man die Schwingung ab und führt sie einem Begrenzer mit nachfolgendem Differenzierglied C/R zu (s. dazu Teil I). Die Dimensionierung von C und R richtet sich wiederum nach der Frequenz und ist nicht sehr kritisch. Sie kann nach Versuch auf beste Erkennbarkeit der Marken (möglichst schmal bei noch ausreichender Helligkeit) gefunden werden. Der an R abnehmbare, mit dem Nulldurchgang von Ue zusammenfallende Nadelimpuls ist der Oszillografen-Hellsteuerung zuzuführen. Die Ausgangsspannung Ua wird auf dem Oszillografen mit eigensynchronisierter Zeitablenkung normal abgebildet. Weist der Prüfling P keine Phasenverschiebung auf, so ergibt sich nach dem Obengesagten ein Oszillogramm entsprechend Bild 29. Die abwechselnden Hell- und Dunkelmarken liegen auf einer Waagerechten, auf der gedachten Nullinie. Bereits bei geringen Phasenverschiebungen weichen die Marken von dieser Ebene ab, was an Hand der Rasterlinien (behelfsmäßig mit angelegter Linealkante) sofort erkennbar wird. Bild 30 zeigt eine Phasenverschiebung von etwa 45°, wobei das Auswandern der Marken bereits sehr deutlich ist. Ein Vergleich mit Bild 29

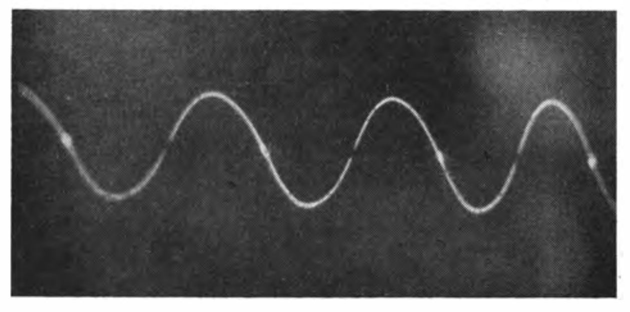


Bild 29 Mit Hellmarken markierte Nulldurchgänge einer Schwingung. Phasenlage 180°, da sich die Hellmarken (positive Nadelimpulse) auf den absteigenden Sinusflanken befinden.

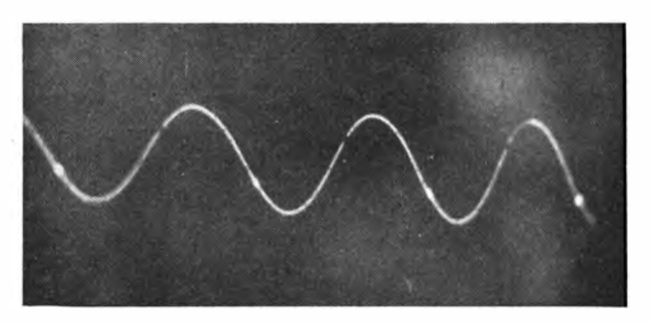


Bild 30 Lage der Marken für eine Phasenverschiebung von etwa 45° (eigentlich 315° aus den bei Bild 29 genannten Gründen, was bei der vorliegenden Aufnahme durch einen 180°-Phasensprung wegen der zufälligen Polung eines Zwischenübertragers zustande kam)

zeigt sofort, daß Prüfling P hier eine Phasenvoreilung bewirkt, da die Kurven-Nullstellen jetzt links von den Marken und damit zeitlich vor ihnen liegen. Dies entspricht beispielsweise dem Verhalten eines RC-Koppelglieds in einem RC-Verstärker nahe der unteren Grenzfrequenz. Allerdings ist dieses Bild in jedem Fall doppeldeutig: Eine Phasennacheilung von rund 315° hat nämlich das gleiche Aussehen. Welcher von beiden Fällen vorliegt, ist jedoch aus den Eigenschaften und der Beschaffenheit des Prüflings sowie dem Betrag der Phasenverschiebung immer leicht zu unterscheiden.
Bei einer Phasenverschiebung von 90° oder 270° müssen, wie eine einfache Überlegung zeigt, die Hellmarken mit den Kurvenscheiteln zusammenfallen; diesen Fall zeigt Bild 31. – Eine weitere Mehrdeutigkeit entsteht dadurch, daß sich die Bilder für 0° und 180° Phasenverschiebung ähneln. Ob eine 180°-Phasenverschiebung im Prüfling erfolgt, läßt sich leicht feststellen, wenn zunächst eine Prüffrequenz gewählt wird, bei der im Prüfling keine wesentliche Phasenverschiebung auftritt, so daß sich ein Oszillogramm ähnlich Bild 29 ergibt. Man geht dann davon aus, daß der positive Nadelimpuls von der positiven Sinushalbwelle, die negative Nadel von der negativen Halbwelle ab-

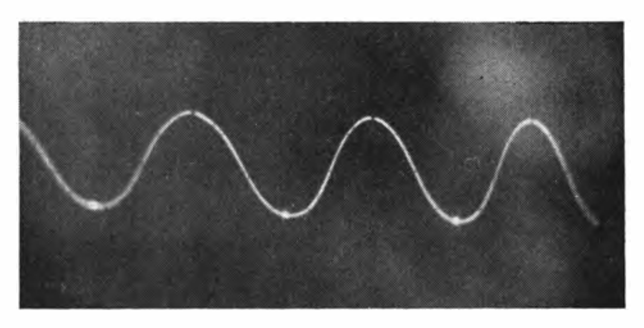


Bild 31 Lage der Marken bei 90° Phasenvoreilung oder 270° Nacheilung

geleitet wird (wie Bilder 36 und 40 in Teil I ebenfalls zeigen). Entsprechend der Bildröhrenfunktion ergeben positive Nadeln Hellmarken, negative Nadeln Dunkelmarken. Für 0° Phasenverschiebung müssen demnach die Hellmarken im ansteigenden, die Dunkelmarken im abfallenden Kurventeil auftreten. In Bild 29 liegen die Verhältnisse genau umgekehrt: Der Prüfling erzeugt eine Phasenverdrehung von 180°. Es handelte sich um einen NF-Verstärker mit symmetrischem Übertragerausgang, der also nur umgepolt zu werden brauchte, um die 0°-Lage zu erreichen. Diese Verhältnisse müssen gegebenenfalls bei der Bildauswertung berücksichtigt werden, da sonst bei größeren Beträgen der zusätzlichen, nicht schaltungstechnisch bedingten Phasendrehung Irrtümer auftreten können. Ob dieser zusätzliche 180°-Phasensprung vorliegt, ist nach dem Gesagten bei kleinen Beträgen der Phasenverschiebung aus dem Bild erkennbar, andernfalls kann man dies aus der Schaltung des Prüflings (bei Verstärkern: Anzahl der Stufen!) ermitteln; bei symmetrischem Ein- oder Ausgang des Prüflings hängt es von der zufällig gewählten Anschlußpolung ab und wird dann durch Wahl einer geeigneten Frequenz im Zusatzversuch aus einem Oszillogramm ähnlich Bild 29 ermittelt.

Diese Methode ist weniger für eine zahlenmäßige Erfassung der Phasenverschiebung (die oft auch gar nicht not-

wendig ist) geeignet; dagegen schafft sie einen schnellen und bildhaften Eindruck vom Verhalten des Prüflings bei geringeren Beträgen der Phasenverschiebung. Eine Grundvoraussetzung ist hier wie auch bei den folgenden Verfahren, daß der Oszillografen-Meßverstärker keine Phasenverschiebung aufweist. Durch Direktanschluß des Oszillografen unter Umgehung des Prüflings läßt sich das – falls erforderlich – schnell kontrollieren.

3.2. Phasenmessung mit Lissajousschen Figuren

Das einfachste und genaueste Verfahren, das allerdings meist einen mit dem Y-Meßverstärker identischen X-Verstärker im Oszillografen erfordert, ähnelt sehr dem in Kapitel 2.1. beschriebenen Frequenzvergleichsverfahren. Bild 32 zeigt die Meßanordnung. Die Kippspannung wird hierbei abgeschaltet und die Meßspannung direkt an den X-Eingang gelegt. Die gleiche Meßspannung führt man dem Eingang des Prüflings, seine Ausgangsspannung dem Y-Eingang zu. Beide Ablenkspannungen werden am Eingang des Oszillografen so eingestellt, daß sie an den Ablenkplatten den gleichen Wert aufweisen.
Da der Prüfling meist einen Spannungsverlust bewirkt, macht sich gewöhnlich im Y-Verstärker eine höhere Verstärkung als im X-Verstärker erforderlich. Ohne X-Verstärker (die Meßspannung wird dann an die X-Platten direkt angeschlossen) ist nur auszukommen, wenn die Meßspannung mit ausreichender Amplitude zur Verfügung steht, um eine für die Auswertung genügende Bildgröße zu gewährleisten, und der Prüfling diese hohe Eingangsspannung verarbeiten kann.

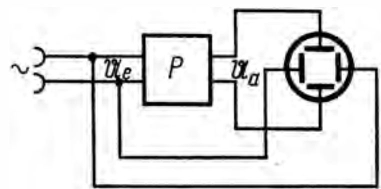


Bild 32
Meßschaltung für Phasenmessung mit Lissajousscher Figur

Der Leuchtpunkt wird damit von der Eingangsspannung des Prüflings horizontal, von seiner Ausgangsspannung vertikal ausgelenkt. Bei einer Phasenverschiebung von 0° ergibt sich dann ein von links unten nach rechts oben verlaufender Strich, der gegen die Horizontale um 45° geneigt ist, falls beide Ablenkspannungen gleich groß sind (Bild 33). Dieser Effekt kann zur Einstellung der Oszillografen-Verstärker benutzt werden, indem der Prüfling zunächst mit einer Frequenz betrieben wird, bei der keine wesentliche Phasendrehung auftritt, und der dann ge-

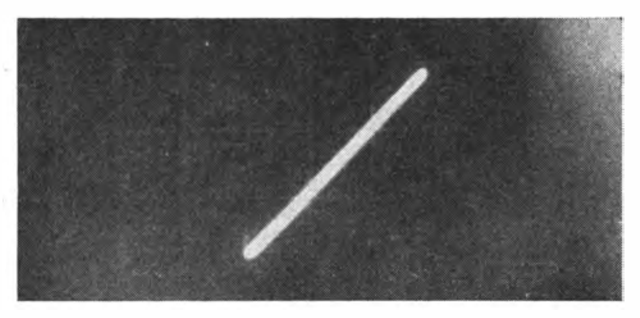


Bild 33 Für die Phasenverschiebung 0° ergibt sich ein nach rechts oben weisender, unter 45° geneigter Strich, wenn $U_y = U_x$ ist. Für 180° Phasenverdrehung (Spannung gegenphasig) verläuft der Strich nach rechts unten

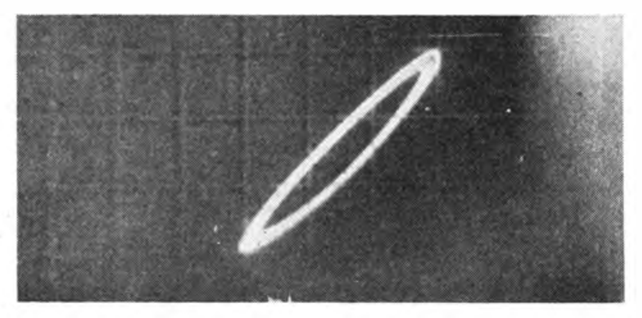


Bild 34 Bereits geringe Phasendifferenzen lassen den Strich zu einer Ellipse werden. Phasenverschiebung hier 15°

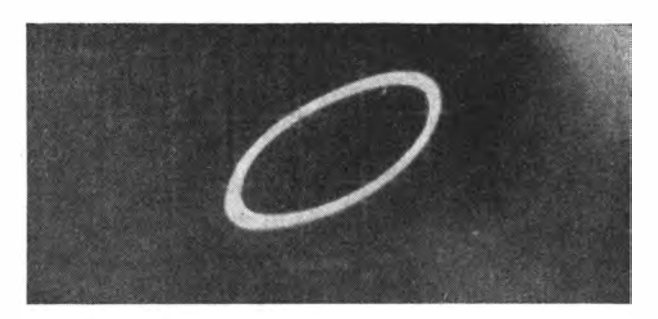


Bild 35 Wie Bild 34; Phasenverschiebung 45°

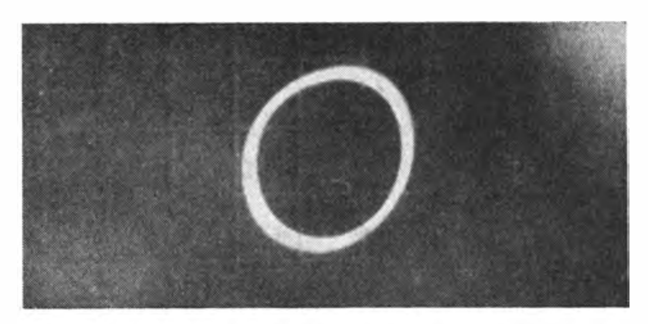


Bild 36 Bei 90° Phasendifferenz wird die Ellipse zum Kreis. Bei Phasendifferenzen über 90° geht dieser Kreis in analoge von links oben nach rechts unten weisende Ellipsen, für 180° in einen Strich über

schriebene Strich bzw. die sehr schmale Ellipse (s. unten) mit den Oszillografen-Eingangsreglern auf 45° Schräglage eingestellt wird.
Bereits geringe Phasenverschiebungen um etwa 1° lassen den Strich zu einer Ellipse werden, die sich um so weiter öffnet, je größer die Phasenverschiebung wird. Bild 34 zeigt das Aussehen der Ellipse für 15° Phasenverschiebung, Bild 35 für 45°. Bei 90° Phasenverschiebung wird die Ellipse zu einem Kreis (Bild 36). Werte über 90° lassen diesen Kreis wieder zur Ellipse werden, die dann jedoch von links oben nach rechts unten weist. Bei 180° ist die

Ellipse demgemäß wieder zu einem Strich geworden (ähnlich Bild 33), der jedoch jetzt von links oben nach rechts unten verläuft (das zeigt für den 180°-Fall übrigens schon eine einfache Überlegung des Ablenkvorgangs).
Wie aus den Bildern hervorgeht, ergibt sich eine einfache und eindeutige Aussage. Das Verfahren läßt bereits sehr geringe Phasenverschiebungen genau erkennen und ermöglicht auch eine zahlenmäßige Erfassung des Winkelbetrags. Dies erfolgt nach der Skizze Bild 37. Zur Auswertung sind die Bezugskoordinaten X und Y erforderlich, die aus dem genau waagerecht stehenden Raster entnommen werden können (durch Abschalten erst der Y- und dann der X-Auslenkung und Vergleich der Parallelität des dann senkrecht oder waagerecht stehenden Striches mit den Rasterlinien kontrollieren, ob Raster wirklich den Koordinatenlagen entspricht!). Die beiden längs der Koordinaten gemessenen kleinen oder großen Durchmesser der Ellipse werden nach der in Bild 37 angegebenen Formel zueinander in Beziehung gesetzt. Aus dem damit erhaltenen Sinus des Phasenwinkels kann mit den üblichen Rechenhilfen (Funktionstabelle oder entsprechendem Rechenstab) sofort der Winkelbetrag der Phasenverschiebung abgelesen werden. Da es in diesem Falle nur auf das Verhältnis von a und b oder von a′ und b′ zueinander ankommt, können die entsprechenden Strecken leicht mit dem Stechzirkel abgenommen und auf ein Millimetermaß übertragen werden, falls der Raster des Bildschirms keine ausreichend genaue, unmittelbare Ablesung gestattet. Bei sorgfältiger Arbeit bringt diese Methode sehr präzise Ergebnisse. Erwähnt sei noch,

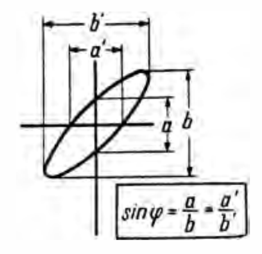


Bild 37
Zur zahlenmäßigen Auswertung der Phasenellipse; ob a und b oder a′ und b′ benutzt werden, ist gleichgültig

daß die Amplituden für X und Y bei diesem Verfahren grundsätzlich beliebig sein können. Die Empfehlung, sie möglichst gleich groß zu machen, wurde oben nur im Hinblick auf eine gut auswertbare, mit etwas Erfahrung bereits grob nach Winkelbeträgen abschätzbare Figurengröße und -lage gegeben. Etwaige Amplitudenunterschiede (ungenaue Einstellung) gehen daher nicht in das Ergebnis ein!

Voraussetzung ist, daß beide Meßkanäle X und Y des Oszillografen gleiche Phasenverschiebung aufweisen (die nicht unbedingt bei Null liegen muß). Solange das der Fall ist, geht der Betrag einer Phasenverschiebung in den Meßverstärkern nicht in das Ergebnis ein. Dieser Vorteil ist allerdings nur relativ zu bewerten, da X- und Y-Verstärker meist mit verschieden hohem Aufwand aufgebaut sind und ihre Phasengänge dann nicht unbedingt gleich sein müssen. Man verschafft sich in solchem Fall Klarheit, indem man X- und Y-Eingang zunächst parallellegt (der Prüfling wird also umgangen). Beim Durchstimmen der Frequenz über den ganzen beabsichtigten Meßbereich darf das Schirmbild dabei nicht merklich von der Strichform nach Bild 33 abweichen; andernfalls ist der Oszillograf für eine genaue Messung nicht geeignet.

Ein großer Vorteil des Verfahrens besteht in seiner Frequenzunabhängigkeit. Der Prüfling kann daher ohne Nachstellen des Oszillografen oder anderer Bedienungsorgane mittels des Meßspannungsgenerators über den ganzen interessierenden Frequenzbereich „durchgedreht" werden, wobei sich die Änderung der Phasenverschiebung an den Übertragungsgrenzen sofort an der Verformung des Striches bzw. der Ellipse ablesen läßt. Wegen seiner Vorzüge wird in der Meßtechnik fast ausschließlich dieses Verfahren benutzt.

3.3. Phasenvergleich mit Simultanschalter

Ein ebenfalls sehr anschauliches Verfahren ermöglicht der Simultanschalter. Bild 38 zeigt die Meßschaltung. Der

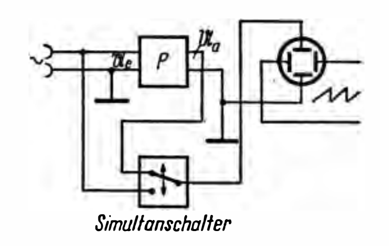


Bild 38
Phasenvergleich mit Simultanschalter. Meßschaltung

Simultanschalter bildet abwechselnd die Eingangsspannung Ue und die Ausgangsspannung Ua des Prüflings ab. Man stellt den Oszillografen so ein, daß wenigstens drei Perioden der Meßspannung in ihm erscheinen; die Zeitablenkung wird entweder mit Ue oder mit Ua synchronisiert. Beide Kurven werden ineinandergeschrieben. Um sie unterscheiden zu können, bildet man die Ausgangsspannung Ua zweckmäßig etwas kleiner ab als die Eingangsspannung (wenn der Prüfling eine Dämpfung aufweist) oder umgekehrt (wenn der Prüfling verstärkt). Im Oszillogrammbild ist dann die Phasenverschiebung unmittelbar erkennbar, für 0° decken sich die Nulldurchgänge beider Kurven. Diese lassen sich übrigens genau markieren, wenn zusätzlich die Schaltung nach Bild 28 angewendet wird. Das entstehende Oszillogrammbild weist dann in beiden Kurvenzügen Hellmarken auf, die bei Ua entsprechend dem unter 3.1. Gesagten gegen den Nulldurchgang versetzt sind, bei Ue aber mit diesem zusammenfallen und damit in dieser Kurve die Nullbezugslinie angeben. In jedem Fall kann – auch ohne dieses Hilfsmittel – mittels eines ausreichend feinen Rasters aus der Verschiebung der Kurven gegeneinander unmittelbar die Phasenverschiebung errechnet werden (Länge einer Periode entspricht 360°). – Bild 39a zeigt ein solches Doppeloszillogramm, aufgenommen mit dem Simultanschalter. Es handelt sich bei dem Prüfling um ein RC-Koppelglied eines NF-Verstärkers, gebildet aus Gitterkondensator und Gitterableitwiderstand. Ein solches Glied weist dämpfende Eigenschaften auf. Die Phasenvoreilung ist deutlich sichtbar. Die Meßfrequenz betrug hier etwa

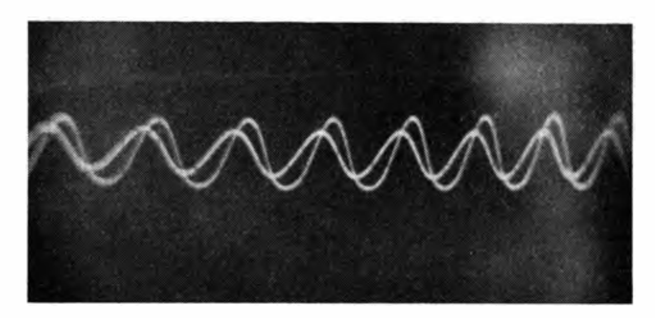


Bild 39a Phasenvergleich mit Simultanschalter. U_a (kleinere Amplitude) weist eine Phasenvoreilung von 45° auf. Das Bild entspricht dem Amplitudenabfall und der Phasenverschiebung eines RC-Hochpasses (RC-Koppelglied!) bei der Grenzfrequenz. Amplitudenabfall um den Faktor 0,7

500 Hz, der Koppelkondensator 10 nF, der Gitterwiderstand 30 kΩ. Ue wurde an der Anode der Vorröhre, Ua am Gitter der nachfolgenden Röhre abgegriffen. Für diesen Meßfall wurde die Eingangsempfindlichkeit beider Eingänge des Simultanschalters gleich groß eingestellt (Parallelschaltung mit Eingangsumschalter, vgl. Schaltung in Teil I), so daß jetzt auch der Amplitudenabfall maßstabgetreu abgebildet ist. Dem aufmerksamen Leser wird aufgefallen sein, daß das Bild 39a nach den obengenannten Werten demzufolge genau dem Betriebsfall der Grenzfrequenz dieses RC-

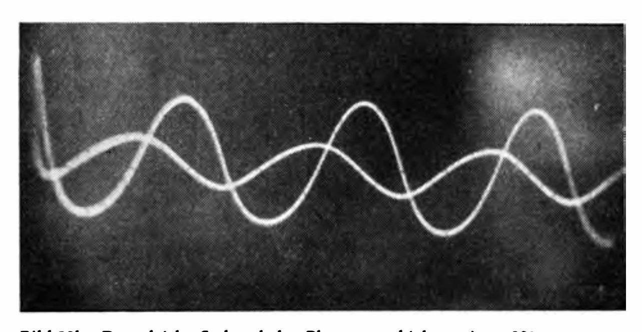


Bild 39b Der gleiche Sachverhalt; Phasenverschiebung jetzt 90°

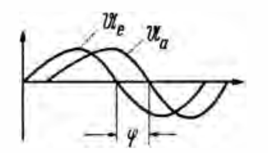


Bild 40
Der Phasenwinkel kann unmittelbar aus dem Abstand der Nulldurchgänge zueinander im Verhältnis zur ganzen Periode (360°) abgelesen werden

Koppelglieds entspricht (Phasenverschiebung 45°, Amplitudenrückgang auf das 0,7fache), so daß damit ein unmittelbarer Eindruck von der Amplituden- und Phasenänderung bei der Grenzfrequenz eines RC-Koppelglieds gegeben wird. Bild 39b zeigt als Ergänzung dazu noch das Aussehen des Oszillogramms bei gleichen Verhältnissen und bei auf 90° vergrößerter Phasenverschiebung. Der Scheitel der Ausgangsspannung fällt jetzt genau mit dem Nulldurchgang der Eingangsspannung zusammen. – Bild 40 verdeutlicht nochmals die Auswertung des Schirmbilds, und zwar im Fall einer Phasennacheilung. Diese Methode eignet sich besonders zur sinnfälligen Darstellung des Zusammenhangs zwischen einer Spannung und einem Strom. Dabei wird die Stromkurve gemäß dem zu Beginn des Kapitels Gesagten mittels Shunt in eine proportionale Spannungskurve umgewandelt. Für genaue Auswertung ist diese Methode weniger geeignet; dagegen ermöglicht sie eine gleichzeitige Beurteilung der Amplitudenveränderung im Zusammenhang mit der Phasenänderung. Der Phasengang des Oszillografen-Meßverstärkers fällt bei dieser Messung heraus, da er sich auf beide Kurven gleichmäßig auswirkt. Voraussetzung ist gleicher Phasengang beider Eingänge des Simultanschalters, was für einen brauchbaren Simultanschalter ohnehin Grundbedingung und leicht realisierbar ist.

4. NF-Verstärkerprüfungen

Oszillografische Verstärkerprüfungen erfreuen sich in der Praxis großer Beliebtheit, da sie sehr schnell und anschaulich über die interessierenden Übertragungseigenschaften orientieren. Meist kommt es in der Praxis nicht auf genau zahlenmäßige Erfassung der einzelnen Übertragungsparameter, sondern auf einen Überblick über das Gesamtverhalten an. In solchen Fällen kann insbesondere die Rechteckprüfung eine ganze Reihe zeitraubender Einzelmessungen ersetzen. Der Prüfling wird dazu mit einer Rechteckfrequenz beaufschlagt, deren günstigster Wert für NF-Verstärker bei etwa 500 Hz, für Videoverstärker bei etwa 500 kHz liegt und relativ unkritisch ist.
Prinzipiell besteht zwischen Video- und NF-Verstärkerprüfungen kein Unterschied. Da jedoch die NF-Prüfung in der Amateur- und Werkstattpraxis größere Bedeutung hat, wird im folgenden nur auf diese eingegangen. Videoprüfungen und ihre Auswertung können danach sinngemäß ähnlich durchgeführt werden.
Als Meßgeräte benötigt man außer dem Oszillografen einen Rechteckgenerator sowie einen Sinusgenerator (Tongenerator). Sehr nützlich ist ein Simultanschalter, mit dem die Kurvenform der Eingangs- und der Ausgangsspannung des Prüflings unmittelbar verglichen wird. Dies ist einmal dann von Wert, wenn man geringe Verformungen der Kurvenform erkennen will (Deckungsvergleich beider Kurven); zum anderen kann ein Rechtecksignal bereits durch den Anschluß der Eingangsschaltung des Prüflings beträchtlich verformt werden (vor den Eingang des Prüflings geschaltete Spannungsteiler oder Anpaßglieder können z. B. die Rechteckflanken beträchtlich verändern). In solchen Fällen verhindert der Simultanschalter Auswertungsfehler, die durch eine derartige unbemerkt bleibende Verformung entstehen können.

Der Meßaufbau ist dann im allgemeinen: Rechteck- oder Sinusgenerator, Prüfling, Simultanschalter, Oszillograf. Im folgenden gilt als Voraussetzung, daß dieser Meßaufbau mit den in Teil I beschriebenen Geräten zusammengestellt wird. Die gezeigten Beispiele können sinngemäß für alle ähnlichen Meßaufbauten übernommen werden. Dem Simultanschalter werden grundsätzlich die Eingangs- und die Ausgangsspannung des Prüflings zugeführt, der Oszillograf wird über den Simultanschalter von der Ausgangsspannung synchronisiert (anzuschließen an Eingang Y 1 des Simultanschalters, Bild 67 in Teil I). Diese kann dann bedarfsweise mit dem dort eingebauten Kalibrator ausgemessen werden. Da es bei Rechteckprüfungen nicht auf die genaue Frequenz ankommt, kann man den Rechteckgenerator entweder freilaufend betreiben oder – in der Praxis sehr vorteilhaft – rückwärts vom Kippspannungsausgang des Oszillografen über den am Rechteckgenerator (Teil I, Bild 44) vorhandenen Synchroneingang synchronisieren. Auf diese Weise kommt über weite Frequenzbereiche mühelos ein stehendes Bild zustande, auch falls der Prüfling das Rechteck sehr stark verformt, Überschwinger aufweist o. ä. Das abgebildete Oszillogramm hat dann im Normalfall – da der Prüfling im allgemeinen eine mehr oder weniger große Phasenverschiebung aufweisen wird – ein Aussehen ähnlich Bild 39a, wobei es meist ratsamer ist, Eingangs- und Ausgangsspannung nicht ineinander, sondern übereinander zu schreiben.

Die im folgenden gebrachten Oszillogrammbeispiele wurden, soweit sie die grundsätzlichen Kurvenformen zeigen, zur besseren Übersichtlichkeit ohne Simultanschalter aufgenommen. Die Eingangsspannung war dann in jedem Fall einwandfrei rechteck- oder sinusförmig. Der Simultanschalter wurde nur dort eingesetzt, wo Unterschiede zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung hervorgehoben werden sollten.

4.1. Frequenzgang- und Phasengangprüfung mit Rechteckschwingungen

Frequenzgang- und Phasengangeinflüsse führen zu charakteristischen Verformungen der Rechteckform, deren theoretisches Zustandekommen nicht näher untersucht wird, da hierzu in der einschlägigen Literatur das Nötige zu finden ist und die vorliegende Broschüre vorwiegend praktische Anleitung geben soll. – Die Auswertung eines verformten Rechtecks ist Sache der Erfahrung, die man nur durch die Praxis gewinnen kann. Nach ausreichender Übung jedoch lassen sich sehr eingehende Rückschlüsse auf den Prüfling ziehen. Es ist dabei gleichgültig, ob es sich bei dem Prüfling um einen kompletten mehrstufigen Verstärker oder eine einzelne Stufe in einem solchen Gerät, um eine Baugruppe, einen Bauteil oder einen beliebigen Vierpol handelt. Meßtechnisch gesehen, besteht auch kein Unterschied zwischen Röhren- und Transistorgeräten. Zu beachten ist: Dem Prüfling muß das Rechteck mit der jeweils den normalen Betriebsbedingungen entsprechenden Eingangsspannung zugeführt und das vom Ausgang abgenommene Signal so weit im Oszillografen bzw. Simultanschalter verstärkt oder abgeschwächt werden, daß ein brauchbares Bild zustande kommt. – Bei der Auswertung ist zu bedenken, daß Frequenzgang und Phasengang fast immer miteinander verknüpft sind und daß sich die entsprechenden Erscheinungen im Rechtecksignal überdecken. Ein RC-Koppelglied bewirkt beispielsweise mit sinkender Frequenz sowohl ein Absinken der Amplitude als auch eine Änderung der Phasenverschiebung. Dadurch ist das „Zerlegen" der Ausgangssignalform in die einzelnen Charakteristika nicht immer ganz einfach. Bild 41 zeigt deshalb zunächst in idealisierter Form die einzelnen Einflüsse.
Amplitudenfehler machen sich durch eine Verwölbung des Impulsdaches bemerkbar (Bilder 41a und 41b), wobei eine Auswölbung (a) eine Anhebung der tiefen Frequenzen, eine Einwölbung (b) einen Abfall der tiefen Frequenzen bedeutet. – Phasenfehler zeigen die Bilder 41c und d. Dabei

bleibt das Rechteckdach linear, jedoch nicht mehr waagerecht. Ein absinkendes Dach (c) bedeutet eine Voreilung der Phase bei tiefen Frequenzen, wie es etwa durch RC-Koppelglieder entsteht, ein ansteigendes Dach (d) eine Nacheilung der Phase bei tiefen Frequenzen.

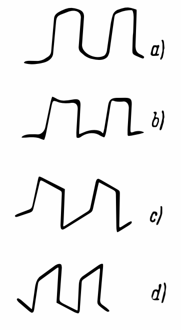


Bild 41
Typische Verformung von Rechteckschwingungen; Idealformen. a) Amplitudenanstieg bei tiefen Frequenzen; b) Amplitudenabfall bei tiefen Frequenzen; c) Phasenvoreilung; d) Phasennacheilung bei tiefen Frequenzen

Die folgenden Fotos wurden an der RC-Gitterkombination einer NF-Verstärkerstufe aufgenommen; dazu wurde der Koppelkondensator schrittweise im Wert geändert. Bild 42 zeigt zunächst das Ursprungsrechteck (Eingangsspannung) mit einer Frequenz bei rund 100 Hz, Bild 43 die zugehörige Ausgangsspannung des RC-Gliedes für eine Phasenverschiebung von 10°. Deutlich läßt sich der Dachabfall entsprechend Bild 41c erkennen. Bild 44 gibt das Impulsbild für eine Phasendrehung von 30° an, die definitionsgemäße

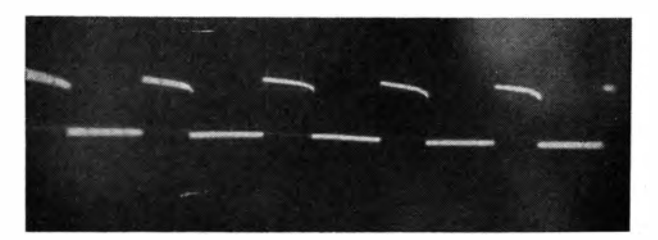


Bild 42 100-Hz-Rechteck

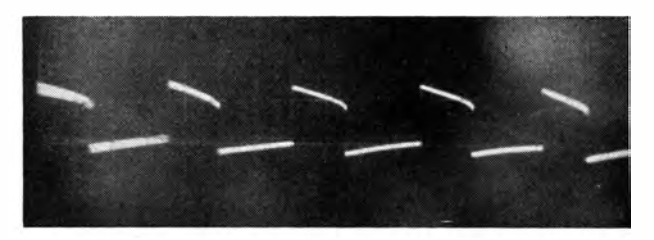


Bild 43 Das gleiche mit 10° Phasenvoreilung

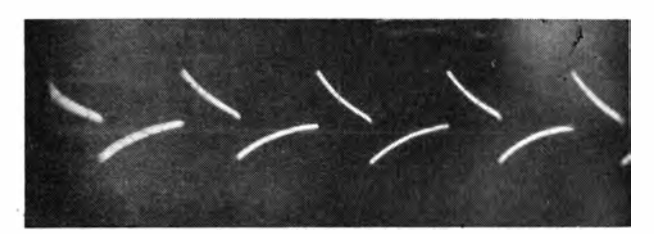


Bild 44 Wie Bild 42; mit 30° Phasenvoreilung

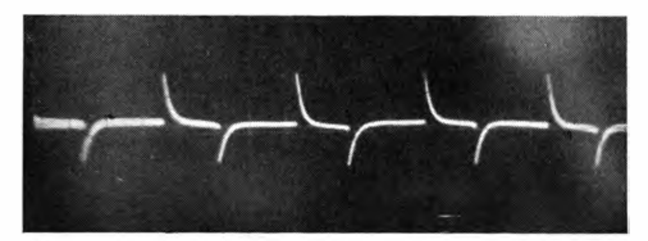


Bild 45 Wie Bild 42; Phasenwinkel bei 60° bis 70°

„Grenzfrequenz" wurde also noch nicht erreicht. Schon hier ist deutlich zu sehen, daß Rechteckimpulse im Bereich der Grenzfrequenzen eines Verstärkers (3-dB-Grenze) bereits sehr stark verformt werden und daß man daher für die Prüfung des gesamten NF-Bereichs mit einer einzigen mittleren Impulsfrequenz auskommt. Bild 45 zeigt schließlich das Impulsbild für einen Phasenwinkel um 60 bis 70°. In

diesem Bereich machen sich Phasenwinkeländerungen um einige 10° nur noch in einer Veränderung der Breite des „Impulsfußes" bemerkbar. – Der gleichzeitig auftretende Amplitudenabfall (gemäß Bild 41b) nach tieferen Frequenzen wird in Bild 44 bereits als schwache Einwölbung des Impulsdaches sichtbar. Bild 45 setzt sich demgemäß in Steigerung dieser beiden Erscheinungen aus extremer Dachschräge nach Bild 41c und extremer Dacheinwölbung nach Bild 41b zusammen. Es stellt bereits die Übergangsform zum „Nadelimpuls" dar. Ein Nadelimpuls kann daher auch als ein Rechteckimpuls angesehen werden, von dem nur noch die höherfrequenten Anteile seines Frequenzspektrums erhalten sind. Diese Bildserie läßt gleichzeitig den Vorgang der Differentiation deutlich werden (der in Teil I behandelt wurde). Wie sich aus den gezeigten Zusammenhängen ergibt, ist es gleichgültig, ob für den in Bild 43 bis 45 gezeigten Vorgang die Zeitkonstante des RC-Gliedes durch Verkleinern von R oder C verringert wird oder ob die Frequenz sinkt. Statt durch Verkleinerung des Koppelkondensators hätte daher auch durch Wahl einer tieferen Impulsfrequenz ein Übergang von Bild 43 nach den Bildern 44 und 45 hervorgerufen werden können.
Den gegenteiligen Vorgang erläutern die folgenden Bilder. Eine Amplitudenverringerung nach höheren Frequenzen hin (Höhenabsenkung in NF-Verstärker bzw. Nähe der oberen Grenzfrequenz) drückt sich in einer Verrundung der Vorderflanken des Rechtecks aus. Bild 42 zeigt wieder die Ursprungsform des für die folgenden Bilder benutzten, jetzt aber höherfrequenten Rechtecks. Dieser Vorgang entspricht einer Integration und ist die Umkehrung der zuvor gezeigten Differentiation; schaltungstechnisch realisierbar, indem im RC-Verstärker-Koppelglied Gitterwiderstand und Gitterkondensator gegeneinander vertauscht gedacht werden. Der Phasenwinkel ist dann negativ. Bild 46 entspricht einem Phasenwinkel von – 2°, Bild 47 dem von etwa – 12° und Bild 48 dem von – 30°; auch hier ist also die obere Grenzfrequenz noch nicht erreicht. Bereits sehr geringe Phasenwinkel und Höhenabfälle sind sofort daran zu erken-

nen, daß die Impulsvorderkanten merklich verrunden und insbesondere jetzt die Rechteckflanken deutlich sichtbar werden; denn wegen der vergrößerten Impulsanstiegszeit bewegt sich der Leuchtfleck dort langsamer und zeichnet daher eine hellere Spur. Dieser Unterschied ist an den Bil-

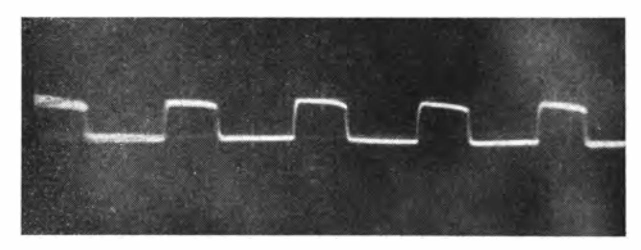


Bild 46 Negativer Phasenwinkel (Höhenabsenkung), etwa – 2°. Derartige geringe Phasenwinkel werden zunächst mit zunehmender Leuchtkraft der oberen Impulsanstieg-Flankenteile, bald mit zunehmender Verrundung der Impulsvorderkante sichtbar

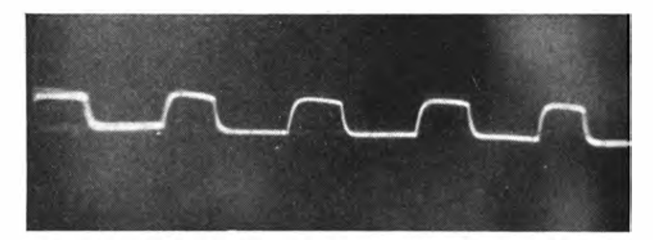


Bild 47 Wie Bild 46; Phasenwinkel etwa – 12°

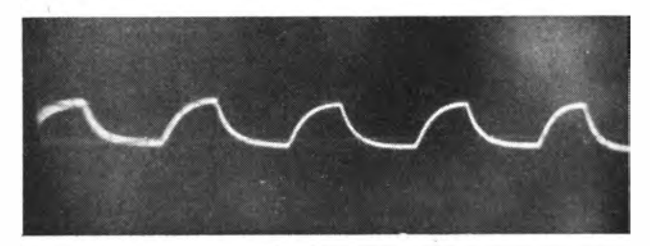


Bild 48 Wie Bild 47; Phasenwinkel etwa – 30°

dern 42 und 46 deutlich sichtbar. Bild 48 zeigt weiterhin deutlich die Dachauswölbung, die nach Bild 41a eine Amplitudenabsenkung der hohen Frequenzen bedeutet (was das gleiche ist wie eine Anhebung nach tieferen Frequenzen).
Bei der Prüfung ganzer Verstärker und ähnlicher Objekte treten, wie erwähnt, beide Erscheinungen zugleich auf (Verstärker haben ja eine obere und eine untere Frequenzgrenze), so daß sich oft sehr stark verformte Impulse ergeben. Sie setzen sich aus den bisher gezeigten Impulsformen zusammen. Auch dafür zwei Beispiele, die nicht zahlenmäßig belegt werden, weil das angesichts der Vielfalt der möglichen Formen den weniger Erfahrenen nur verwirren würde. Beide folgenden Bilder entsprechen einem 500-Hz-Rechteck; der Prüfling war ein hochwertiger NF-Verstärker, bei dem lediglich die getrennte Höhen- und

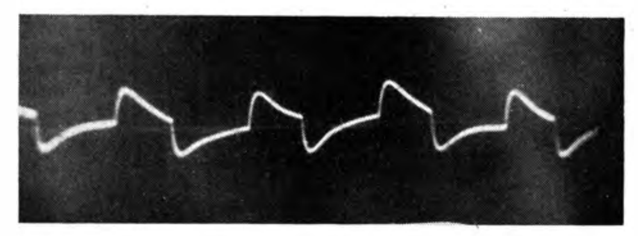


Bild 49 In der Praxis häufig auftretende kombinierte Verformung; kann etwa aus Bild 44 und Bild 46 entstanden gedacht werden

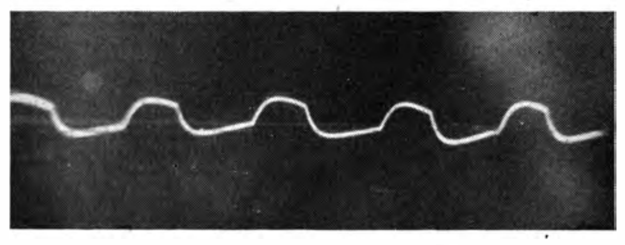


Bild 50 Andere mögliche Kombinationsform; etwa aus Impulsformen ähnlich Bild 43 und 47 entstanden zu denken

Tiefenregelung für beide Aufnahmen verschieden eingestellt wurde. Bild 49 kann man sich etwa aus den Impulsformen der Bilder 44 und 46, Bild 50 aus den Bildern 43 und 47 entstanden denken. Es empfiehlt sich, zum Einarbeiten einen guten NF-Verstärker mit Rechtecken verschiedener Frequenz zu oszillografieren und dabei die Einflüsse der Höhen- und Tiefenregler beim Verstellen zu beobachten. Für die praktische Arbeit sollte man sich dann an die Rechteckfrequenz von 500 Hz $\pm$ 20 Prozent gewöhnen, um einen eindeutigen Erfahrungssatz sammeln zu können. Wählt man jedes Mal eine andere Frequenz, so ändern sich selbstverständlich bei anderen Impulsfrequenzen auch die entsprechenden Oszillogrammbilder ganz beträchtlich, und der an eine Frequenz „Gewöhnte" kommt zu ganz falschen Schlußfolgerungen. Als Anhalt sei noch gesagt, daß ein guter, im gesamten Hörbereich mit $\pm$ 1 bis 2 dB Abweichung linear arbeitender NF-Verstärker ein 500-Hz-Rechteck noch nahezu unverändert überträgt.

4.2. Beurteilung von Klirrfaktor, nichtlinearer Verstärkung, Arbeitspunkteinstellungen und Überschwingerscheinungen

4.2.1. Die Aussteuerungsgrenze (Klirrfaktoranstieg bei Übersteuerung)

Diese Prüfung wird mit Sinusschwingungen vorgenommen. Man erhöht allmählich die Eingangsspannung des Prüflings, bis es zu einer Begrenzung (Abkappung) des Kurvenscheitels kommt. Bei genauerem Hinsehen ist bereits die einsetzende Verflachung des Scheitels zu erkennen: In diesem Moment ist die Aussteuergrenze bzw. die maximale Eingangsspannung erreicht. Ihr Wert kann mit Röhrenvoltmeter am Eingang des Prüflings gemessen werden; im Betrieb sollten 80 Prozent dieses Wertes nicht überschritten werden. Die Eingangsspannung ist ebenfalls oszillografisch mit dem Kalibrator des Simultanschalters oder ähnlich zu

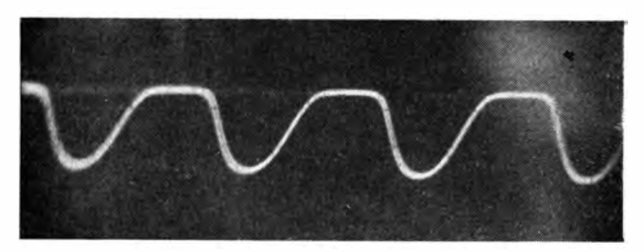


Bild 51 Einseitig begrenzte Sinusschwingung, entstanden durch vorzeitige Übersteuerung infolge falschen Arbeitspunkts

bestimmen (vgl. unter Kapitel 1.1.2.), des weiteren die Ausgangsspannung, die vor allem für die Errechnung der maximal entnehmbaren Ausgangsleistung nach der Beziehung $P = \frac{U^2}{R}$ interessiert. R ist der Verbraucherwiderstand (meist die Lautsprecherimpedanz). Bild 51 zeigt einen abgekappten Sinus bei bereits recht kräftiger Übersteuerung. – Theoretisch müßte die Abkappung auf beiden Halbwellen etwa bei gleicher Eingangsspannung einsetzen, praktisch beginnt sie fast immer bei einer Halbwelle etwas zeitiger als bei der anderen. Unterschiede wie in Bild 51 – die negative Halbwelle zeigt noch keine Begrenzung, während die positive schon bei etwa 50 Prozent ihres Scheitelwerts begrenzt wird – sind jedoch eindeutig Fehleranzeigen. Es handelt sich dann um den fehlerhaft eingestellten Arbeitspunkt einer oder mehrerer Stufen (sitzt nicht in der Mitte des geradlinigen Kennlinienteils). Ursache ist meist eine falsch gewählte Gittervorspannung oder – bei Transistorgeräten – ein falsch eingestellter Kollektorstrom. Maximal entnehmbare Ausgangsleistung bzw. der Aussteuerbereich werden dadurch natürlich beträchtlich reduziert. Typisch für diese Erscheinung ist, daß bei Reduzierung der Eingangsspannung die vollständige Sinusschwingung abgebildet wird. Außer bei mittleren Frequenzen (um 1 kHz) muß diese Prüfung zusätzlich noch bei der unteren und oberen Frequenzgrenze (bei üblichen NF-Verstärkern also bei 50

bis 100 Hz und 10 bis 12 kHz) durchgeführt werden, da der Aussteuerbereich des Verstärkers dort mitunter geringer sein kann.

4.2.2. Nichtlinearität durch falschen Arbeitspunkt

Nichtlineare Verstärkung durch falsche Arbeitspunktwahl oder eine andere Ursache kann sich außer in ausgeprägten Begrenzungserscheinungen auch in einer Kurvenform nach Bild 52 äußern. Das ist der Fall, wenn z. B. eine Röhrenkennlinie nicht am Ende des linearen Teiles relativ scharf „abknickt", sondern über die ganze Länge mehr oder weniger gekrümmt verläuft. Dementsprechend bleibt die Verstärkung für die eine Halbwelle (in Bild 52 die negative) geringer als für die andere. Derartige Verstärker weisen auch bei geringer Aussteuerung ziemlich hohe Klirrfaktorwerte auf, während für Übersteuerungserscheinungen nach Bild 51 das plötzliche Ansteigen der Verzerrungen beim Erreichen einer bestimmten Aussteuergrenze charakteristisch ist. Das Schirmbild gibt daher auch unmittelbar Auskunft über die wahrscheinliche Ursache solcher Verzerrungen. Bei Röhren mit regelbarer Gittervorspannung (Gegentakt-Endstufen) bzw. bei Transistorstufen mit regelbarer Basisvorspannung kann die Einstellung der Vorspannung während des Betriebs dadurch erfolgen, daß man die Er-

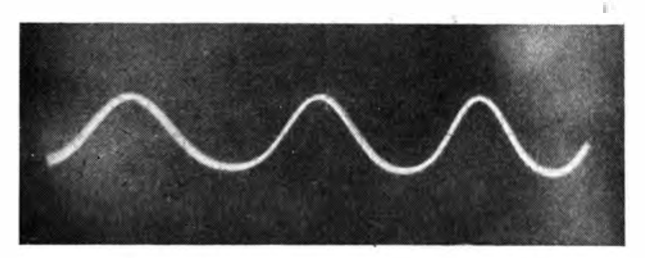


Bild 52 Verformte Sinusschwingung bei Vorhandensein eines Verstärker- oder Übertragungselements mit nichtlinearer Kennlinie. Mögliche Ursachen sind mit falschen Spannungen betriebene Röhrenstufen oder schlecht angepaßte Transistorstufen

scheinungen nach Bild 51 und 52 bis zu möglichst hohen Eingangsspannungswerten „herauszuregeln" versucht. Die günstigste Einstellung ist dann erreicht, wenn die Erscheinung nach Bild 52 überhaupt nicht, die nach Bild 51 dagegen so auftritt, daß die Begrenzung beider Halbwellen möglichst zugleich einsetzt. Meist wird man zwischen beiden Einstellungen einen Kompromiß finden.

4.2.3. Oberwellenhaltige Sinusspannung infolge Oberwellenbildung durch Nichtlinearitäten

Nichtlinearitäten (Bild 51 und insbesondere Bild 52) bewirken bekanntlich das Entstehen von Oberwellen, deren Anteil in der Grundwelle auch unterhalb der Aussteuergrenze, bei einiger Übung etwa ab Klirrfaktoren von 6 bis 8 Prozent, bereits sichtbar wird. Bild 53 gibt dafür ein Beispiel. Mit dem Simultanschalter wurde unten die Eingangsspannung, darüber die Ausgangsspannung abgebildet. Man sieht deutlich, daß sie unsauber in der Sinusform ist. Die Frequenz betrug hier 210 Hz; der Klirrfaktor dieser Ausgangsspannung wurde mit einer Klirrfaktormeßbrücke zu rund 7 Prozent ermittelt. Danach wurde nun zur genaueren Analyse die Grundwelle am Verstärkerausgang mit einem auf 210 Hz abgestimmten RC-Doppel-T-Filter (Dämpfung 60 dB) ausgesiebt, um die Oberwellen allein darstellen zu können. Bild 54 zeigt das Ergebnis. Um die Nulldurch-

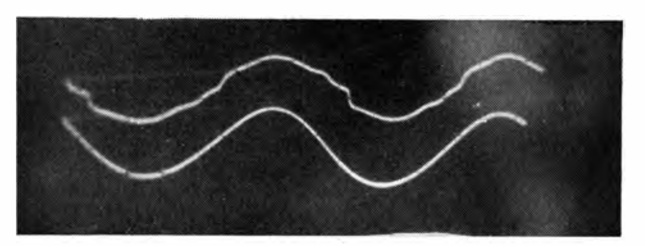


Bild 53 Stark oberwellenhaltige 210-Hz-Schwingungen, darunter, mit Simultanschalter eingeschrieben, die oberwellenfreie Sinusschwingung. Der Klirrfaktor der oberen Schwingung liegt bei 7 %

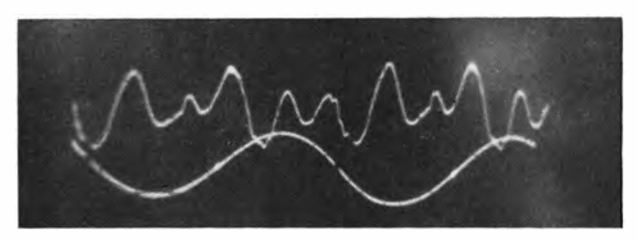


Bild 54 Aus der 210-Hz-Grundschwingung nach Bild 53 oben ausgefilterter Oberwellenanteil, darunter zum Frequenzvergleich die Grundschwingung selbst. Die Hellmarken geben Bezugspunkte für die Nulldurchgänge. Die Oberwellen enthalten hauptsächlich die 4. Harmonische mit 1050 Hz, wie sich leicht auszählen läßt

gänge festlegen zu können, markiert man sie gleichzeitig in der früher beschriebenen Weise mit Hellmarken, wozu die unten abgebildete Grundwelle zum Rechteck begrenzt, anschließend zum Nadelimpuls differenziert und der Hellsteuerung des Oszillografen zugeführt wird. Dadurch läßt sich auch die Phasenlage der Oberwellen zur Grundwelle eindeutig bestimmen. Wie sich zeigt, herrscht in Bild 54 die 4. Oberwelle mit 1050 Hz vor. Deutlich ist erkennbar, daß mit wesentlich kleinerem Amplitudenanteil auch noch Oberwellen höherer und tieferer Ordnung überlagert sind. Bei normalen Verstärkern treten im Gegensatz zu der gezeigten Aufnahme vorwiegend die 2. und 3. Harmonische auf, die aber ein ähnliches Bild ergeben. Die Ordnungszahl der Oberwelle wird in einfacher Weise durch Auszählen der Perioden über eine Periode der Grundwelle bestimmt; auch hierzu leisten die Hellmarken gute Dienste.

4.2.4. Einschwing- und Überschwingerscheinungen

Einschwing- und Überschwingerscheinungen sind recht unangenehme Fehlererscheinungen; sie können grundsätzlich zwei Ursachen haben. Entweder sind Einschwing- oder Umladungsvorgänge an RC-Gliedern die Ursache, oder es handelt sich um induktives Überschwingen (Übertrager). Im

ersten Fall hat die Überschwingerscheinung die Form einer abklingenden e-Funktion, im zweiten Fall die einer abklingenden gedämpften Schwingung. Beide sind also nach ihrer Ursache leicht zu unterscheiden.
Häufig haben diese Überschwingerscheinungen so hohe Frequenz, daß sie auch bei höheren Rechteckfrequenzen nur als kurze, oft sehr leuchtschwache Nadelspitzen auf der vorderen Impulskante sichtbar sind. Deshalb sollte man bei Rechteckprüfungen mit sorgfältig eingestellter Strahlschärfe arbeiten und die Rechteckvorderkanten zusätzlich durch kurzes Steigern der Helligkeit auf anormal hohen Wert auf eventuell erst jetzt sichtbare Nadelspitzen kontrollieren. Bild 55 zeigt eine solche Erscheinung. Die Rechteckfrequenz beträgt 1 kHz. Um die Überschwingerscheinung sichtbar zu machen, mußte für die Fotoaufnahme die Helligkeit so gesteigert werden, daß in den Impulsdächern bereits ein deutlicher Schärfeverlust durch zu hohe Strahlhelligkeit entstand, was sich in der sehr dicken Abbildung der Impulsdächer ausdrückt.
Zur Analyse dieser Schwingungsform muß die „Nadel" aufgelöst, d. h. horizontal gedehnt werden. Man geht davon aus, daß die Frequenz dieser Schwingung, bei der es sich ja um eine Art Resonanzerscheinung handelt, konstant bleibt. Der gewünschte Effekt wird also durch Wahl einer höheren Rechteckfrequenz erreicht. Bild 56 zeigt den glei-

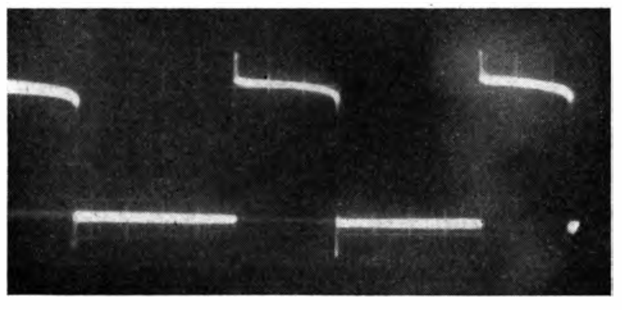


Bild 55 1-kHz-Rechteck mit Überschwingerscheinung

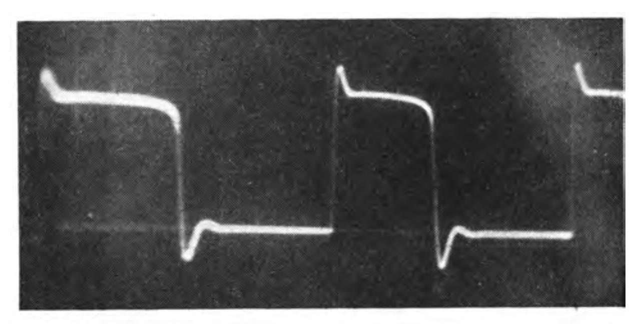


Bild 56 Der gleiche Überschwinger auf einem 10-kHz-Rechteck. Jetzt ist deutlich sein Charakter gemäß abklingender e-Funktion erkennbar. Niemals sind induktionsbehaftete Bauteile die Ursache!

chen Überschwinger, mit einer Rechteckfrequenz von 10 kHz dargestellt. Jetzt läßt sich deutlich erkennen, daß es sich im wesentlichen um ein einmaliges Überschwingen handelt, die Ursache also nicht auf den Einfluß induktiv wirkender Bauelemente zurückzuführen ist. Vielfach liegt die Ursache in solchen Fällen bei falsch dimensionierten, frequenzabhängigen Gegenkopplungen oder ähnlichen Korrekturgliedern, wie man sie meist zur Höhenanhebung vorsieht. Ein Überschwingen in dem gezeigten Ausmaß ist für

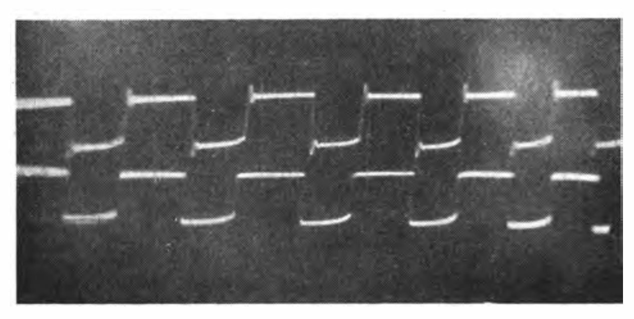


Bild 57 100-Hz-Rechteck mit Überschwinger (oben) und, mit Simultanschalter eingeschrieben, Eingangsspannung des Prüflings (unten) zum Vergleich

übliche NF-Verstärker eben noch vertretbar, sofern nicht ausgesprochene Studioqualität verlangt wird.
Bild 57 gibt ein weiteres Beispiel, jetzt für einen induktiv bedingten Überschwinger. Die Rechteckfrequenz betrug hier 100 Hz; mittels Simultanschalter wurde unten die Eingangsspannung eingeschrieben. Auf den Impulsvorderkanten der Ausgangsspannung oben sieht man wiederum deutlich die Überschwingspitze. Zu ihrer Analyse wurde wie beim vorigen Beispiel die Rechteckfrequenz auf 1 kHz erhöht und außerdem – um das völlige Abklingen der Schwingung zugleich mit dem Abreißen der Schwingung beim Eintreffen der nächsten, den Resonanzkreis anstoßenden Impulsflanke zeigen zu können – das Impulstastverhältnis auf 1 : 4 geändert. Dazu wurde ein Rechteckgenerator mit regelbarem Tastverhältnis verwendet. Bild 58 zeigt das auf diese Weise entstandene Schirmbild; unten wieder die mit Simultanschalter eingeschriebene Eingangsspannung. Unverkennbar handelt es sich in diesem Fall um eine abklingende, gedämpfte Schwingung, deren Ursache nur eine induktiv bedingte Resonanzerscheinung sein kann. In Frage kommen dafür also Bauelemente wie Ausgangsübertrager (fast immer die Ursache), Eingangsübertrager, Entzerrerdrosseln (ebenfalls häufig) und dergleichen. Da die Impulsfrequenz

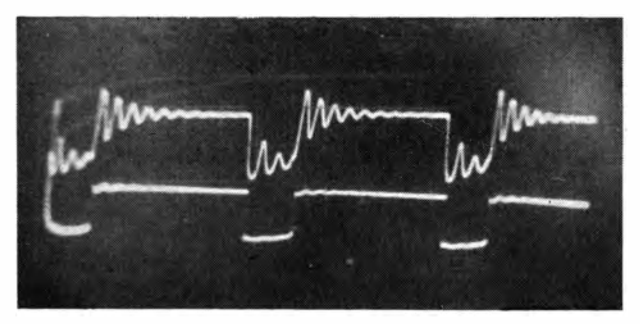


Bild 58 Ein 1-kHz-Rechteck mit Tastverhältnis 1 : 4 (unten) löst den Überschwinger deutlich auf. Es handelt sich um eine abklingende, gedämpfte Schwingung: Ursache ist also ein induktionsbehaftetes Bauelement

bekannt ist, läßt sich die Frequenz der Resonanzschwingung durch Auszählen leicht bestimmen; sie liegt in Bild 58 bei etwa 14 kHz, fällt also noch in den Hörbereich. Derartige Erscheinungen sind oft die Ursache für gehörmäßig schwer definierbare Klangunsauberkeiten (schrille oder zischend klingende Höhen usw.). Nach Aussehen und Frequenz des Überschwingers kann meist schon recht genau auf die Ursache geschlossen werden.

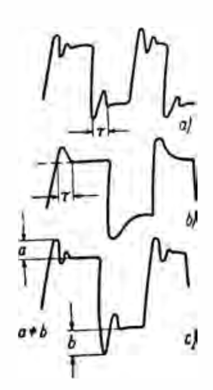


Bild 59
Zur Charakteristik der Überschwingungserscheinungen

In Bild 59 sind nochmals die Unterschiede und die Auswertung skizziert. Bei a ist eine induktiv bedingte Schwingung gezeigt. Ihre Zeitkonstante τ (sprich: tau) wird durch Ausmessen einer Periode bei bekannter Ablenkgeschwindigkeit (ergibt sich aus Rechteckfrequenz und Anzahl der abgebildeten Rechteckperioden) ermittelt, wie in Bild 59a angegeben. Bei b ist die Form einer durch RC-Glieder bedingten Überschwingspitze gezeigt, wieder mit Angabe der Meßdistanz für die Zeitkonstante. Kennt man deren Wert, so kann an Hand der Schaltung des Prüflings die Ursache regelrecht „am Schreibtisch" ermittelt werden. Bild 59c zeigt noch eine weitere, gelegentlich beobachtete Erscheinung. Hierbei sind die positive und die negative Halbwelle der Resonanzschwingung (verglichen an zwei identischen Punkten der Rechteck-Halbwellen) nicht gleich

groß. In Bild 58 ist das geringfügig der Fall; dort ist Strecke a des Bildes 59c etwas größer als Strecke b. Diese Erscheinung läßt auf nichtlineare Verstärkung schließen; es empfiehlt sich in solchem Fall die Probe nach Abschnitt 4.2.2., die dann häufig ein Oszillogramm ähnlich Bild 52, seltener gemäß Bild 51, ergibt. Auch dieses Beispiel zeigt erneut, wie weitgehende Aussagen Rechteckprüfungen in einem Zuge ergeben können, wenn sie nach entsprechender Praxis mit der nötigen Überlegung ausgewertet werden.

4.2.5. Netzfrequenz-Brummspannungsanalyse

Die Ursache für die Brummspannung eines Verstärkers läßt sich oszillografisch sehr einfach feststellen, indem die Brummspannung des Ausgangs bei fehlender Eingangsspannung abgebildet wird. Durch Einschreiben von 50-Hz-Hellmarken, die man aus der Netzfrequenz ableitet, kann zunächst festgestellt werden, ob die Brummfrequenz 50 oder 100 Hz beträgt (Unterscheidung von Heizungs- und Anodenspannungsbrumm bei Zweiweg-Gleichrichtung); außerdem ist dabei die Phasenlage der Brummspannung zur Netzspannung erkennbar. Aus ihr und der Kurvenform der Brummspannung läßt sich die Fehlerquelle dann leicht einkreisen. Die Kurvenform gestattet dabei die Unterscheidung von Ohmschem Brummen (durch Erdschleifen, Katode/Heizungs-Feinschluß u. ä., auch schlechte Anodensiebung), magnetischem Brumm (Sinuskurve dann meist in Nähe der Nullstelle deutlich geknickt) oder kapazitiv eingestreutem Brumm durch mangelhafte Abschirmungen (unregelmäßige Kurvenform mit starkem Oberwellengehalt). Durch mangelhafte Anodensiebung bedingter Brumm weist oft auch eine einseitig abgeplattete Sinusform auf ähnlich Bild 51 jedoch mit wenig ausgeprägter Halbwelle und deutlich schräg abfallender „Nullinie". Bei Heizungsbrumm kann ein Vergleich der Phasenlage des Brumms zur Netzspannung erkennen lassen, ob Abhilfe durch Symmetrierung, durch einseitige Erdung der Heizung oder nur durch Umbau auf Gleichstromheizung mög-

lich ist. Der Amateur kompensiert häufig den Brumm entweder durch Ohmsche oder durch induktive Einspeisung einer geringen 50-Hz-Speisespannung in eine der Vorstufen. Ihre Wirksamkeit läßt sich ebenfalls – besonders bei Brummkompensationen in Tonbandgeräten, wenn Motor oder Netztrafo magnetisch auf den Hörkopf einstreuen – an Hand der Phasenlage und Kurvenform der Brummspannung weitgehend voraus abschätzen, so daß sofort eine zweckentsprechende Kompensationsart gefunden werden kann und zeitraubende Versuche erspart bleiben.

4.2.6. Beurteilung des Gesamtverhaltens von NF-Verstärkern

Prüft man einen NF-Verstärker mit einem Rechteckimpuls von etwa 500 Hz, so ergibt sich die Beurteilung seines Gesamtverhaltens aus der Zusammenfassung des bisher Gesagten. Während Erscheinungen wie Überschwinger, Übersteuerungen oder Nichtlinearitäten (hierbei ist im Rechteck eine der Halbwellen ganz oder teilweise gekappt, zeigt also gerades Dach an Stelle der in der anderen Halbwelle oder den Flanken sichtbaren Verformungen) in jedem Falle gut sichtbar sind, überdecken sich die Amplituden- und Phasengangfehler oft beträchtlich. Insbesondere sind die etwa vorhandenen Klangregler zu beachten. Werden sie so eingestellt, daß die Kurvenform der Rechteckform bestmöglich

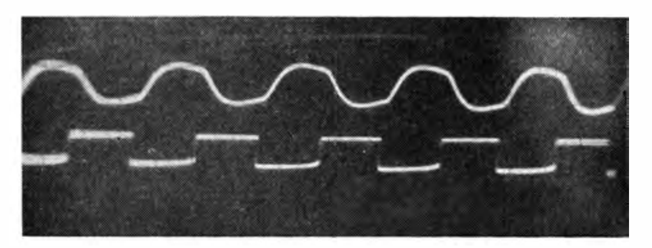


Bild 60 Ein 50-Hz-Rechteck am Eingang eines mit getrennten Klangreglern versehenen NF-Verstärkers (unten) und darüber dessen Ausgangsspannung. Klangreglerstellungen: Höhen – 20 dB abgesenkt, Tiefen – 20 dB abgesenkt

ähnelt, so kann man annehmen, daß sie näherungsweise in der Stellung für linearen Frequenzgang stehen. Ganz wird sich das nie erreichen lassen. Einige Bildbeispiele sollen den Einfluß einer getrennten Höhen- und Tiefenregelung bei einem Verstärker zeigen, der in Stellung „linear" beider Regler den Frequenzbereich von 40 Hz bis 13 kHz ± 3 dB überträgt. Bild 60: Höhen- und Tiefenregler in Stellung – 20 dB; Bild 61: Tiefe + 15 dB, Höhe – 20 dB

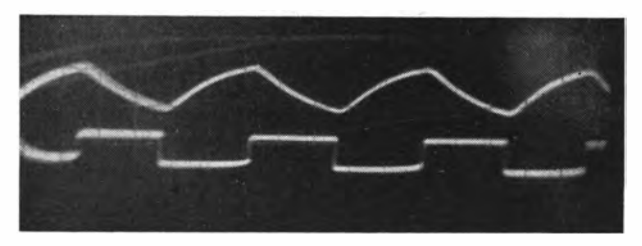


Bild 61 Wie Bild 60; Tiefenregler + 15 dB, Höhenregler – 20 dB

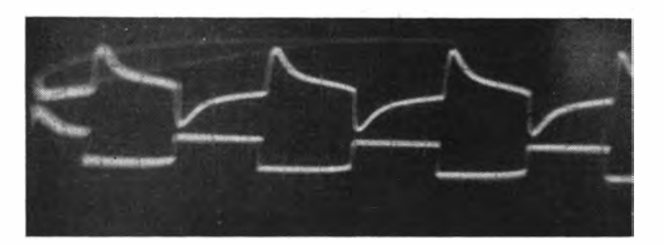


Bild 62 Wie Bild 60; Höhenregler + 14 dB, Tiefenregler – 14 dB

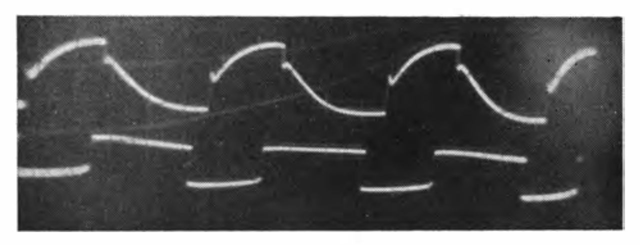


Bild 63 Wie Bild 60; Höhenregler + 14 dB, Tiefenregler + 14 dB

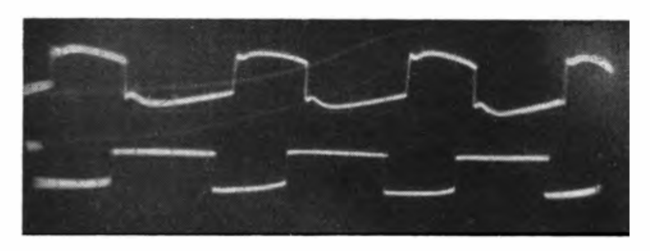


Bild 64 Wie Bild 60; Höhen- und Tiefenregler in Stellung $\pm$ 0 dB (linearer Frequenzgang)

(Reglerwerte wie üblich auf 1 kHz bezogen); Bild 62: Höhe + 14 dB, Tiefe – 14 dB; Bild 63: Höhe und Tiefe je + 14 dB; Bild 64: Höhe und Tiefe $\pm$ 0 dB, Stellung „linear". Unter der Ausgangsspannung ist jeweils die Eingangsspannung abgebildet. Impulsfrequenz 500 Hz; die Klangregler sind gegeneinander röhrenentkoppelt und arbeiten nach dem bekannten „Fächerdiagramm" mit Einsatzfrequenzen von 600 Hz (Tiefenregler) und 1600 Hz (Höhenregler). Die typischen Merkmale, wie sie unter 4.1. und bei Bild 41 erläutert wurden, sind deutlich zu sehen, auch ihr Einfluß aufeinander, wenn ein Regler unverändert bleibt und der andere verstellt wird. Es ändern sich dann auch die Charakteristika im Bereich des nicht verstellten Reglers (vgl. Bild 62 mit Bild 63). Außerdem kann man feststellen, daß außer dem Frequenzgang auch der Phasengang beträchtlich geändert wird, und zwar durchaus nicht immer streng proportional zum Frequenzgang. Diese Zusammenhänge gewinnen besonders in der Stereotechnik an Bedeutung. In Bild 63 und 64 ist ein kleiner, offensichtlich RC-bedingter Überschwinger bemerkbar, der interessanterweise beim Absenken der Tiefen verschwindet (Bild 62). Bei Bild 62 hat man zu beachten, daß die Impulsvorderflanke nicht etwa einen Überschwinger ähnlich Bild 56 darstellt, sondern als eine Übergangsform zu einem Impulsverlauf ähnlich Bild 43 bis 45 gedeutet werden muß. Daß hier das Impulsdach stärker eingewölbt ist, als bei den genannten Vergleichsbildern, erklärt sich aus dem eingestellten Frequenzgang,

der eine zusätzliche Absenkung der Tiefen bei einer Überhöhung der hohen Frequenzen bewirkt, wie die Reglerstellungen zu Bild 62 aussagen. Der Phasenfehler (Dachschräge) wurde in diesem Fall vorwiegend durch den Höhenregler verursacht, während der Amplitudenfehler (Einwölbung des Daches) hauptsächlich auf den Einfluß des Tiefenreglers zurückzuführen ist. Vergleiche dazu wieder Bild 41.

Diese Parallelen zu früheren Vergleichsfotos mögen genügen. Der aufmerksame Leser wird aus den gezeigten Oszillogrammen noch mehr Parallelen zu den früher beschriebenen Fotos finden. Kurz erwähnt seien noch die subjektiven Klangeindrücke, die sich aus den in Bild 60 bis 64 eingestellten Frequenzgängen ergeben. Während Bild 60 auf ein einigermaßen ausgewogenes Klangbild schließen läßt, dem aber jede Brillanz, jede Klangfülle (Bässe) fehlt, entspricht Bild 61 einem ausgesprochen dumpfen, „bummsenden" Klangbild mit übermäßig betonten Bässen bei fehlender Brillanz. Bild 62 läßt ein sehr helles, hartes Klangbild mit zu schwacher Baßwiedergabe erkennen, Bild 63 dagegen das derzeit „moderne" Klangbild mit kräftigen Bässen, brillanten Höhen und relativ wenig betonten Mittellagen. Bild 64 vermittelt die Klangcharakteristik der Quelle nahezu unverfälscht; die dabei noch bestehenden Abweichungen vom idealen Rechteck sind gehörmäßig nicht mehr feststellbar.

Wie die Bilder zeigen, ist die Rechteckprüfung eine außerordentlich scharfe Verstärkerprüfung; man darf daher bei NF-Verstärkern mittlerer Qualität nicht zu hohe Anforderungen an die Übertragungsqualität des Rechtecks stellen. Verstärker, die ein 500-Hz-Rechteck mit einer Form ähnlich Bild 63 und 64 wiedergeben, sind für die Amateurpraxis bereits als völlig ausreichend anzusehen; eine weitere Aufwandssteigerung ist kaum lohnend, sofern auch die Prüfungen nach 4.2.1. bis 4.2.3. zufriedenstellend ausfallen. Zur genaueren Beurteilung der Übertragungscharakteristik kann eventuell noch eine Rechteckprüfung mit höherer Frequenz (3 bis höchstens 5 kHz) zusätzlich erfolgen.

4.3. Kanalvergleiche bei Stereo-Verstärkeranlagen

Bei Stereo-Anlagen werden bekanntlich für beide Übertragungskanäle gleicher Frequenzgang (in allen Klangreglerstellungen untersuchen!), gleiche Verstärkung und – als Charakteristikum dieser Technik – gleicher Phasengang gefordert. Da dieser eng mit dem Frequenzgang verknüpft ist und ihm gegenüber die dominierende Rolle spielt, kann auf gesonderte Prüfung der Frequenzgang-Gleichheit verzichtet werden. Das Ganze kommt wieder auf eine Vergleichsmessung hinaus. Soweit die Übertragungsparameter zahlenmäßig interessieren, werden sie nach dem Kanalvergleich am einzelnen Kanal gemessen, bzw. man kann die Messung gleichzeitig mit dem Kanalvergleich durchführen. Dieser unterteilt sich demgemäß in 2 Messungen.

4.3.1. Pegelvergleichsmessung (Verstärkungsgleichheit beider Kanäle)

Eine Pegelvergleichsmessung wird zweckmäßig mit dem Simultanschalter durchgeführt. Man schaltet die Kanaleingänge parallel und schließt die Ausgänge beider Kanäle an Eingang Y 1 und Y 2 des Simultanschalters an. Dieser ist auf Verstärkergleichheit beider Eingänge eingestellt; beide Nullinien werden auf Deckung gebracht (s. Teil I). Sind Phasenlage und Pegel beider Kanäle gleich, so decken sich beide Kurven genau. Die Meßfrequenz beträgt zunächst 1 kHz. Falschpolung eines Ausgangs erkennt man sofort an der spiegelbildlichen Lage beider Kurven. Ungleiche Kanalverstärkungen bewirken ein Doppeloszillogramm ähnlich Bild 3. Gut eingepegelte Stereo-Anlagen ergeben Deckung beider Kurven in Mittelstellung des Balancereglers. Danach verändert man die Meßfrequenz in Richtung zur oberen und zur unteren Frequenzgrenze; vorhandene Tandemklangregelungen werden ebenfalls bei verschiedenen Frequenzen probeweise verstellt. Im Idealfall soll die Deckung beider Kurven bei allen Einstellungen erhalten bleiben. In Nähe der Frequenzgrenzen wird das niemals restlos er-

reichbar sein; der Amplitudenunterschied soll aber auch dann 10 Prozent der Amplitude nicht überschreiten. Das gilt ebenfalls für die Klangregler!

4.3.2. Phasenvergleichsmessung

Die Phasenvergleichsmessung erfolgt ebenso wie die in Kapitel 3.2. beschriebene Phasenmessung nach dem *Lissajousschen* Verfahren: Kanaleingänge parallel; ein Kanalausgang führt zum X-Eingang des Oszillografen, der andere zum Y-Eingang. Die Zeitablenkung schaltet man ab. Im Idealfall wird jetzt ein unter 45° geneigter Strich geschrieben (s. Bild 33), der nach rechts oben weisen muß. An den Frequenzgrenzen lassen sich meist geringe Phasendifferenzen nicht vermeiden; der Strich öffnet sich dabei zur Ellipse nach Bild 34, wobei dieser Wert bereits die äußerste Grenze darstellt. Phasendifferenzen von 10° sollten nicht überschritten werden. Da die Figur bei allen Frequenzen stillsteht, kann der Meßtongenerator kontinuierlich über den ganzen Übertragungsbereich durchgestimmt und dabei die Ellipse beobachtet werden. Bedenklich sind dabei sprunghafte Phasendifferenzen, die auf einem relativ schmalen Frequenzband innerhalb des Übertragungsbereichs auftreten, meist verursacht durch Resonanzen oder Überschwingerscheinungen in einem Kanal bei diesen Frequenzen. Eine Rechteckmessung nach Abschnitt 4.2.4. gibt darüber Aufschluß. Der Phasengang muß unbedingt in allen Stellungen der vorhandenen Klangregelglieder über das gesamte Frequenzband geprüft werden, da gerade diese Regelglieder oft Anlaß zu beträchtlichen Phasenfehlern geben. – Größere Phasendifferenzen oder kontinuierliche Zunahme des Phasenfehlers nach einer Seite des Frequenzbereichs gehen meist auf Einzelteil-Differenzen oder -Toleranzen zwischen beiden Kanälen (besonders Kondensatoren und Ausgangsübertrager) zurück. Voraussetzung ist natürlich ein völlig identischer Aufbau beider Kanäle (gleiche Schaltung, gleiche Dimensionierung, etwa gleiche Verkabelung usw.).

5. Wobbelmeßverfahren

Wie bereits in Teil I begründet, hat die Wobbeltechnik erstens keine überragende Bedeutung in der Amateurpraxis, zweitens sollte sie wegen der Möglichkeiten zu Fehlschlüssen bei der Messung dem Erfahrenen vorbehalten bleiben. An dieser Stelle wird daher nur kurz auf den grundsätzlichen Aufbau eines Wobbelmeßplatzes eingegangen und betr. näherer Einzelheiten auf die angegebene Literatur verwiesen.

Bild 65 zeigt die Meßschaltung bei Verwendung eines fremdgesteuerten Wobblers. Die Wobblung erfolgt mit der Kippfrequenz des Oszillografen, die von diesem abgegriffen und dem Wobbelgenerator zugeführt wird. Die FM-Spannung gelangt zum Prüfling, von dessen Demodulator die Richtspannung abgegriffen und dem Y-Eingang des Oszillografen zugeführt wird.

Die Meßschaltung bei Verwendung eines eigengesteuerten Wobblers zeigt Bild 66. Die Kippspannung wird jetzt abgeschaltet und die Zeitauslenkung mit einer vom Wobbler gelieferten, dem X-Eingang des Oszillografen zugeführten Spannung (meist der 50-Hz-Netzfrequenz) vorgenommen. Bild 67 gibt – der Deutlichkeit halber ausnahmsweise als Skizze – einige typische Durchlaßkurvenformen wieder:

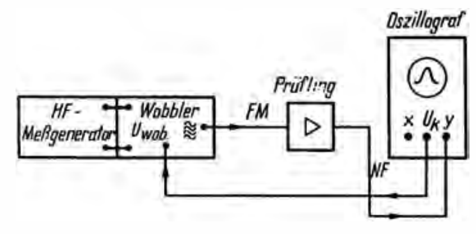


Bild 65 Meßanordnung zum Wobbeln von Filterkurven. Wobbler vom Oszillografen-Kippteil fremdgesteuert

Kurve a) stellt die Resonanzkurve eines kritisch gekoppelten Bandfilters oder eines Einzelkreises dar, Kurve b) die eines überkritisch gekoppelten Bandfilters; Kurve c) zeigt das gleiche Filter bei zu starker Kopplung, während die Kurvenform d) entsteht, wenn ein Kreis dieses Filters verstimmt ist. Für die Auswertung hat eine mitgeschriebene Nullinie große Bedeutung. Man gewinnt sie, indem entweder bei jedem zweiten Strahlhinlauf die Y-Spannung ausgetastet oder abgeschaltet wird (beim Verfahren nach Bild 65), oder (bei Bild 66) indem man den HF-Generator im Wobbler während einer Halbwelle der ablenkenden

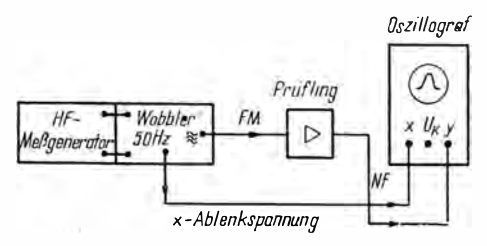


Bild 66 Meßanordnung zum Wobbeln von Filterkurven. Wobbler eigengesteuert; er liefert gleichzeitig die X-Ablenkspannung für den Oszillografen

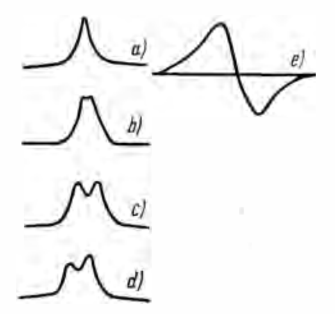


Bild 67 Einige typische Formen von Bandfilter-Durchlaßkurven, wie sie auf dem Bildschirm sichtbar werden: a) kritisch gekoppeltes Filter oder Einzelkreis, b) überkritische Kopplung, c) Kopplung zu stark, d) ein Kreis verstimmt, e) Diskriminatorkurve eines UKW-ZF-Teiles

50-Hz-Spannung austastet bzw. sperrt. Falls der Wobbler selbst keine Einrichtung dafür hat, kann das mit dem Simultanschalter erreicht werden. Man schaltet ihn dem Y-Eingang des Oszillografen vor; einer seiner Eingänge bleibt offen. Nach Bild 65 wird der Simultanschalter dann in der bekannten Weise vom Oszillografen-Kippteil mitgesteuert; nach Bild 66 muß er durch die vom Wobbler gelieferte Ablenkspannung gesteuert werden. Das gelingt (mit den in Teil I beschriebenen Geräten), indem man den Simultanschalter von dem auf 100 Hz eingestellten Rechteckgenerator ansteuert, während dieser wiederum über seinen Synchroneingang von der Wobblerspannung synchronisiert wird. Es ist dann gewährleistet, daß bei jedem Nulldurchgang der Wobbler-Ablenkspannung eine positive Rechteckflanke am Simultanschalter-Kippspannungseingang auftritt und dieser mit Beginn jeder Halbwelle umgeschaltet wird, wodurch der gewünschte Effekt erreicht ist. – Bild 67e zeigt als Beispiel für ein auf diese Weise erhaltenes Oszillogramm die Diskriminatorkurve eines UKW-FM-Empfängers mit eingeschriebener Nullinie.
Meßfehler können durch Amplitudenmodulation der vom Wobbler abgegebenen FM-Spannung (dies ist eine Frage der Gerätequalität) und durch unbemerkte HF-seitige Übersteuerung des Prüflings entstehen. Eine entsprechende Kontrolle ist möglich, wenn probeweise die HF-Amplitude auf den halben Wert oder weniger verringert wird. Die Kurvenform des Oszillogramms darf sich dabei nicht verändern.
Diese wenigen Hinweise müssen hier genügen, da es nicht möglich ist, die gesamte Problematik im Rahmen weniger Seiten auch nur annähernd zu umreißen. Siehe dazu besonders die im Teil I genannten Literaturstellen [4] bis [6].

6. Sondergebiete

Aus der großen Zahl von Sondermessungen können nur wenige für den Amateur interessante und relativ unbekannte Verfahren genannt werden. Ausführliche Hinweise und Anleitungen für diese und noch viele andere Sondermessungen, insbesondere auch für die Messung nichtelektrischer Größen (Vibrations-, Drehzahl-, Dehnungs-, fotooptische und akustische Messungen als Beispiele) sind insbesondere in [1] zu finden.

6.1. Modulationsgradmessungen an Sendern

6.1.1. AM-Sender (Modulationstrapez)

Von den verschiedenen möglichen Verfahren ist am bekanntesten und für den Amateur geeignetsten die Darstellung des Modulationstrapezes. Bild 68 zeigt das Prinzip. Vom Senderausgang (PA-Anode) wird die HF abgenommen und im allgemeinen unmittelbar den Y-Ablenkplatten der Bildröhre zugeführt. Sie erzeugt bei fehlender Modulation zunächst einen senkrechten Strich. Dem X-Eingang führt man – je nach verfügbarer Spannung ebenfalls direkt oder über den X-Verstärker – die zur Modulation benutzte NF (vom Ausgang des Modulators) zu. Bei der Modulation kommt es dann zu dem in Bild 69 skizzierten Modulationstrapez auf dem Bildschirm. Der Modulationsgrad errechnet

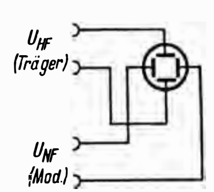


Bild 68
Prinzipschaltung zur Erzeugung des Modulationstrapezes

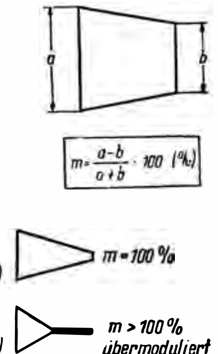


Bild 69
Modulationstrapez. Form entspricht etwa 20 bis 25 % Modulation. Der Modulationsgrad wird nach der angegebenen Beziehung bestimmt

Bild 70
a) Bild des Modulationsgrads 100 %, b) Modulationsgrad > 100 % (Übermodulation)

sich aus der in Bild 69 angegebenen Beziehung (in der Sendepraxis interessiert er jedoch nicht so sehr zahlenmäßig). Bild 70 zeigt die charakteristische Form des Trapezes für 100 Prozent Modulation, während Bild 69 etwa 25 Prozent Modulation entspricht. Übermodulation äußert sich in einem auffälligen, rechts aus der Dreieckspitze überstehenden Strich, ist also während der Sendung sofort erkennbar, obwohl sich die Trapezform im Sprechrhythmus ständig ändert. Nähere Einzelheiten hierzu sowie einige dimensionierte Schaltungen für spezielle Modulationskontrollgeräte nach diesem Prinzip sind in Heft 32 dieser Reihe (Brauer, *Modulationsarten und Modulatorschaltungen)* zu finden.

6.1.2. FM-Sender (Hubmessung)

Während für AM-Sender außer dem Modulationstrapez noch mehrere andere Verfahren geläufig sind, ist in der Literatur nur sehr wenig über Modulationsgradmessungen (Frequenzhubmessungen) an FM-Sendern zu finden. Da diese Technik neuerdings auch für den Amateur an Bedeutung zunimmt, soll hier auf ein neueres Verfahren hingewiesen werden, das in der Zeitschrift *radio und fernsehen* von R. Grollmisch [7] beschrieben wurde.

Nach Bild 71 wird für die Meßanordnung neben einer prinzipiell beliebigen Mischstufe ein HF-Meßgenerator benötigt, der die Hilfsfrequenz f_H liefert, die der Frequenz f_M des zu messenden FM-Senders entspricht und möglichst präzise einstellbar sein soll. In der Mischstufe kommt es zur Bildung einer Differenzfrequenz, die – wenn f_H und f_M nur wenig differieren – in den niederfrequenten Bereich fällt. Diese Differenzfrequenz wird dem Y-Eingang des Oszillografen zugeführt. Die dort gleichzeitig auftretenden, wesentlich höherfrequenten sonstigen Mischprodukte sowie

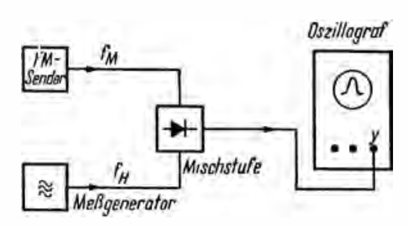


Bild 71 Prinzipschaltung zur Frequenzhubmessung am FM-Sender

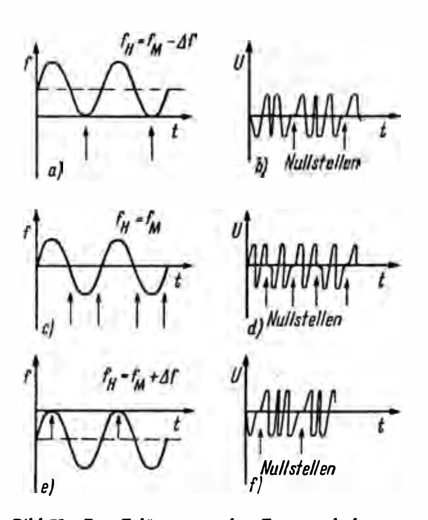


Bild 72 Zur Erläuterung der Frequenzhubmessung

die Ursprungsfrequenzen werden vom Oszillografen-Meßverstärker meist ohne besondere Maßnahmen unterdrückt, so daß nur die Differenzfrequenz zur Anzeige kommt.
Wie im zitierten Beitrag gezeigt wird, enthält diese Differenzfrequenz die Modulation der Frequenz f_M ebenfalls, und zwar mit dem numerisch gleichen Hub wie f_M. Es genügt daher, den Hub der Differenzfrequenz auszumessen. Bild 72 erläutert diesen Vorgang. Kurve a) zeigt die Abhängigkeit der Frequenz f_M (Sinuskurve; gestrichelt die Mittenfrequenz bzw. Trägerfrequenz entsprechend f_M ohne Modulation) von der Hilfsfrequenz f_H (entspricht der Zeitachsenlage). Die Sinuskurve deutet daher den Verlauf der Frequenzänderung über die Zeit an. In ihren negativen Halbwellen ist $f_M = f_H$, die Differenzfrequenz in diesem Augenblick Null (Pfeilstellen). Während der positiven Halbwelle der Kurve (Bild 72a) erreicht die Differenzfrequenz ihr Maximum. Sie hat damit einen zeitlichen Verlauf nach Bild 72b; die Frequenzänderung über die Zeit entspricht direkt dem Frequenzhub; die Nullstellen der Differenzfrequenz sind wieder mit Pfeil angegeben. – Wird nunmehr $f_H = f_M$ gewählt, so ist die Differenzfrequenz bei fehlender Modulation Null und pendelt bei vorhandenem Frequenzhub in dessen Rhythmus um diesen Wert (s. dazu Bild 72c). Wie ein Vergleich mit Bild 72a zeigt, hat sich die Anzahl der Nullstellen jetzt verdoppelt. Aus Bild 72d ist der zeitliche Verlauf der Differenzfrequenz zu ersehen. Wird f_H weiter erhöht, so ergeben sich die Verhältnisse nach Bild 72e und f, die denen im Bild 72a bzw. b entsprechen – mit dem Unterschied, daß die nun vorhandenen zwei Nullstellen gegenüber Bild a und b in der Phasenlage um 180° versetzt sind.
Beim Meßvorgang nähert man f_H langsam f_M, bis es zum Auftreten von Nullstellen kommt. Die jetzt eingestellte Frequenz f_H wird notiert. Bei weiterem Verstellen verdoppelt sich die Anzahl der Nullstellen zunächst, dann verringert sie sich wieder auf die ursprüngliche Anzahl. Die zu diesem Zeitpunkt wirksame Frequenz f_H wird ebenfalls am Meßgenerator abgelesen. Zwischen beiden Einstellungen

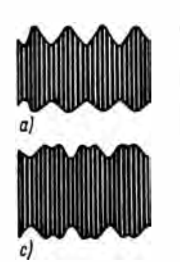
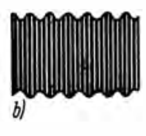



Bild 73
Die bei der Frequenzhubmessung zu beobachtenden Schirmfiguren: a) einfache Zahl von Nullstellen, b) doppelte Anzahl von Nullstellen, c) die Nullstellen beginnen sich zu verdoppeln

wurde der Meßgenerator dann, wie die Skizzen erkennen lassen, genau um den doppelten Betrag des Frequenzhubs verstellt, der damit unmittelbar am Meßgenerator abzulesen ist. – Bild 73 zeigt die bei diesem Einstellvorgang auftretenden Oszillogramme. Anstatt zu ausgeprägten Nullstellen kommt es durch Nebeneinflüsse oft nur zur Bildung von Spannungsbäuchen, was das Prinzip nicht beeinträchtigt. Aus Bild 73a ersieht man eine Anzahl von Nullstellen bzw. Spannungsbäuchen; damit ist ein Ablesewert am Meßgenerator gegeben. Beim weiteren Verstimmen verdoppelt sich die Zahl der Nullstellen. Bild 73c läßt die beginnende Verdopplung erkennen; in Bild b sind diese Nullstellen voll ausgebildet. Jetzt liegen die Verhältnisse nach Bild 72c und d vor. Bei weiterem Verstimmen des Meßgenerators erfolgt eine umgekehrte Entwicklung. Sobald das Oszillogramm nach Bild 73a wieder erreicht ist, wird die betreffende Frequenz am Meßgenerator abgelesen. Die Differenz beider Einstellungen entspricht unmittelbar dem doppelten Frequenzhub.
Wichtig ist – wie sich ohne weiteres erkennen läßt – eine genügend feine Einstellung und gute Ablesbarkeit am Meßgenerator. Die zitierte Veröffentlichung gibt eine erreichbare Meßgenauigkeit für den Frequenzhub bis zu weniger als 1 Prozent an.

6.2. Kennlinienaufnahmen an Röhren und Halbleitern

Für Kennlinienaufnahmen, die auch für die Amateurpraxis wertvoll sind und die anschauliche Ergebnisse liefern, wenn

es darauf ankommt, sich über das Verhalten des Prüflings einen orientierenden Überblick zu schaffen, werden hier nur die prinzipiellen Meßschaltungen gezeigt. Sie sind zweckmäßig von Fall zu Fall „fliegend" aufzubauen und entsprechend den Daten des Prüflings zu dimensionieren.

6.2.1. Gitterspannung/Anodenstrom-Röhrenkennlinien

Bild 74 zeigt die Meßschaltung. Als Prüfling wurde eine Triode angenommen. Für Pentoden ist der Vorgang der gleiche; es kommt gegebenenfalls noch die Einstellung der Schirmgitterspannung hinzu. Mit den Reglern Ug und Ua werden Gittervorspannung und Anodenspannung entsprechend den interessierenden Betriebsverhältnissen eingestellt; Rg richtet sich nach dem Prüfling. Die Spannungen für Gitter und Anode kann man beispielsweise einem Universalnetzteil entnehmen. Dem Gitter wird von einem Tongenerator eine Sinusspannung von einigen 100 Hz (Frequenz ist unkritisch) zugeführt; gleichzeitig bewirkt diese Steuerspannung über den X-Eingang des Oszillografen – dessen Kippspannung abgeschaltet wird – die Horizontalauslenkung. Die von der Gitterwechselspannung erzeugte Anodenstromänderung ergibt am Anodenwiderstand – der sehr klein gehalten werden muß, um die Ug/Ia-Kennlinie zu erhalten – eine Wechselspannung, die man dem Y-Eingang zuführt. Die vom Tongenerator ge-

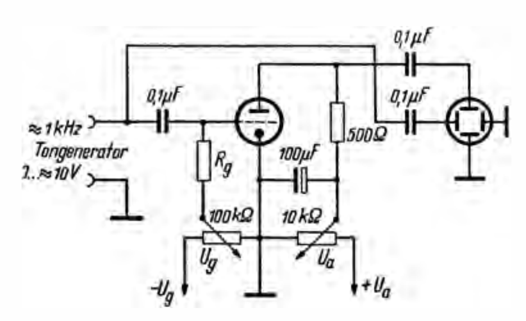


Bild 74 Meßschaltung zur Aufnahme der Ug/Ia-Kennlinie einer Röhre

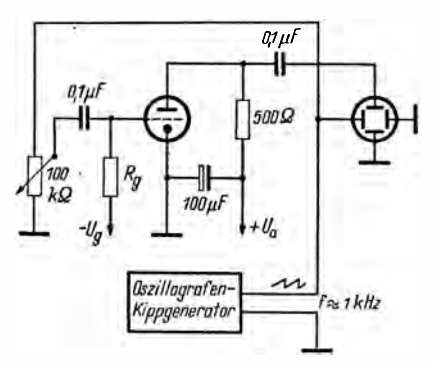


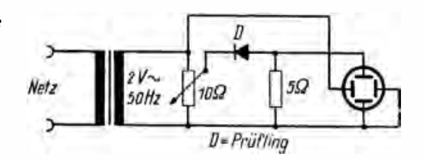
Bild 75 Vereinfachte Meßschaltung zur Kennlinienaufnahme

lieferte Gitterwechselspannung muß regelbar sein, um die gesamte Kennlinie aussteuern zu können. Auf dem Bildschirm erscheint dann die Ug/Ia-Kennlinie in der für die jeweils eingestellte Gitter- und Anodengleichspannung gültigen Form.
Ohne Tongenerator kann man auskommen, wenn zur Ansteuerung der Röhre die Kippfrequenz des Oszillografen benutzt wird. Bild 75 zeigt diese Schaltung. Mit dem 100-kΩ-Potentiometer ist der Betrag der Gitterwechselspannung so einzustellen, daß die gesamte Kennlinie ausgeschrieben wird und unterer sowie oberer Kennlinienknick sichtbar sind. – Ug und + Ua werden wieder mit entsprechenden Potentiometern, wie in Bild 74 gezeigt, eingestellt (in Bild 75 fortgelassen).

6.2.2. Kennlinien von Halbleiterdioden und Röhrendioden

Bild 76 zeigt die Meßschaltung für die Kennliniendarstellung von Dioden. Als Prüfling wurde hier eine Halbleiterdiode D angenommen; Vakuumdioden werden ebenso angeschaltet. Als Transformator eignet sich eventuell schon ein Klingeltrafo mit teilweise abgewickelter Sekundärwicklung oder zusätzlich aufgebrachter 2-V-Wicklung. Die gesamte Meßschaltung muß – wie die Wertangaben zeigen –

Bild 76
Schaltung zur Aufnahme der Kennlinie von Dioden. An Stelle der Halbleiterdiode D kann auch eine Vakuumdiode als Prüfling eingesetzt werden



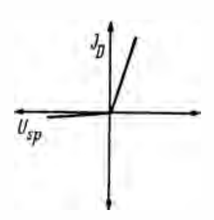


Bild 77
Typische Form einer Dioden-Kennlinie (Halbleiter)

niederohmig gegen den *Durchlaß*widerstand der Diode sein. Mit dem 10-Ω-Potentiometer ist je nach Diodentyp die Meßspannung einzustellen (Vorsicht vor Überlastung des Prüflings!).

Dem X-Eingang des Oszillografen wird die Meßspannung, dem Y-Eingang eine dem Diodenstrom proportionale, am 5-Ω-Widerstand abgegriffene Spannung zugeführt; für beide Eingänge werden wegen der geringen Spannungen Meßverstärker benötigt. Den Kippgenerator des Oszillografen schaltet man ab; auf dem Bildschirm erscheint dann die Diodenkennlinie, die ein Aussehen entsprechend der Skizze Bild 77 hat. Aus der Steilheit beider Äste sowie dem Verlauf des Knickes in Nullpunktnähe kann auf die Diodeneigenschaften geschlossen werden.

6.2.3. Kennlinienvergleich von Transistorenpaaren und Kennlinienaufnahme von Transistoren (Ib/Ic-Kennlinie in Emitterschaltung)

Den Amateur dürfte ein solcher überschlägiger oszillografischer Kennlinienvergleich von Transistoren wegen der Pärchenauswahl besonders interessieren. Eine Prüfschaltung für diesen Zweck, die auch zur Darstellung der Basis-

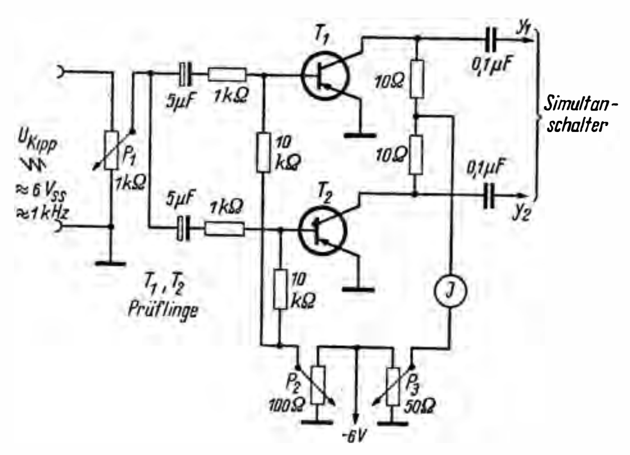


Bild 78 Kennlinien-Vergleichsschaltung zur Pärchenauswahl von Transistoren

strom/Kollektorstrom-Kennlinie eines einzelnen Transistors in Emitterschaltung geeignet ist, zeigt Bild 78. Die Prüflinge T 1 und T 2 werden dabei mit Stromsteuerung betrieben. Obwohl diese Methode nicht ganz exakt ist, entspricht sie doch den meisten Anwendungsfällen der Praxis und liefert auch für andere Anwendungsfälle (Gegentakt-Endstufen) ausreichend genaue Ergebnisse. Die Messung geschieht in Form eines Kennlinien-Deckungsvergleichs beider Transistoren mit dem Simultanschalter. Die Transistoren werden mit der Sägezahn-Kippspannung des Oszillografen angesteuert, die man mit P 1 zwischen 0···6 V regeln kann. Die Kippfrequenz soll bei etwa 1 kHz liegen und ist relativ unkritisch. P 1 wird so eingestellt, daß er gerade die gesamte Kennlinie aussteuert. Mit P 2 stellt man den Basisstrom für beide Transistoren gemeinsam ein, mit P 3 den Kollektorstrom entsprechend den Transistordaten und den beabsichtigten Betriebsbedingungen. Das Milliamperemeter I zeigt den fließenden Kollektorstrom an und ist als Kontrolle gegen ungewollte Überlastung der Transistoren durch zu hoch gewählten Kol-

lektorstrom unbedingt erforderlich. Es darf höchstens den für einen Transistor zulässigen Maximalkollektorstrom anzeigen. Die Werte aller Widerstände und Kondensatoren sollen in beiden Zweigen genau übereinstimmen; das gilt besonders für die Basiswiderstände 1 kΩ und 10 kΩ. An den mit 10 kΩ wieder sehr klein bemessenen Kollektorwiderständen (damit ausgangseitig mit genügender Näherung der Kurzschlußfall gegeben ist) wird eine dem Kollektorstrom proportionale Spannung abgenommen und den Y-Eingängen des Simultanschalters zugeführt. Im Funktionsprinzip ähnelt diese Meßschaltung daher der von Bild 75. Da der Simultanschalter synchron mit der Kippfrequenz zwischen Eingang Y 1 und Y 2 umschaltet, wird abwechselnd die Kennlinie von T 1, beim nächsten Strahlhinlauf die von T 2 geschrieben. Ist nur ein Transistor eingesetzt, so erscheint im Schirmbild an Stelle der zweiten Kennlinie eine zur Auswertung willkommene Nullinie. Vor Meßbeginn sind am Simultanschalter beide Nullinien auf Deckung und beide Eingänge auf genau gleiche Verstärkung zu bringen (in Teil I beschrieben). Die Kippspannung ist an P 1 mit negativer Polarität anzulegen, damit man die gewohnte Kennliniendarstellung erhält.
Bild 79 zeigt die Verbindung der Prüfschaltung (Bild 78) mit dem Oszillografen und dem Simultanschalter.
Zwei Transistoren sind zum Betrieb als Pärchen geeignet, wenn ihre Kennlinienverläufe möglichst weitgehend übereinstimmen und nirgends mehr als etwa 20 bis 25 Prozent

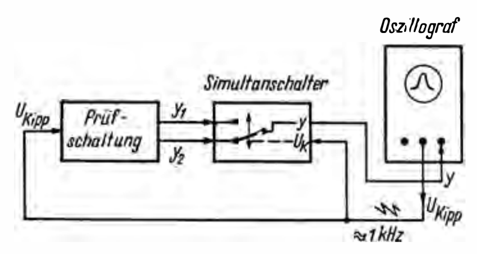


Bild 79 Aufbau der Meßschaltung und Anschluß der Prüfanordnung aus Bild 78 zum Kennlinienvergleich von Transistoren

der Gesamtamplitude voneinander abweichen. Treten größere Abweichungen nur im Bereich hoher Aussteuerung auf, so kann dies möglicherweise bei der Dimensionierung der beabsichtigten Schaltung durch entsprechend geringere Ansteuerung berücksichtigt werden (falls es nicht auf maximale Leistungsausbeute ankommt).
Sinngemäß ist eine solche Schaltung auch für die Auswahl von Diodenpaaren geeignet. Man geht dann von einer entsprechend abgewandelten Prüfschaltung nach dem Prinzip in Bild 76 in der Kombination mit dem Simultanschalter ähnlich Bild 79 aus.

6.3. Untersuchungen an Fernsehempfängern

Der Oszillograf ist aus der modernen Fernsehwerkstatt nicht mehr wegzudenken. Der Amateur hat mit dieser Anwendung des Oszillografen keinen unmittelbaren Kontakt; deshalb sollen in diesem Kapitel auch keine Fehlersuch- oder Reparaturhinweise gegeben werden. Andererseits kann die Kenntnis der grundsätzlichen Wirkungsweise des Fernsehempfängers heute erfahrungsgemäß schon bei den meisten Amateuren vorausgesetzt werden. Nachstehend daher einige typische Oszillogrammbilder des Fernsehempfängers, die geeignet sind, die im Vorangegangenen gezeigten Zusammenhänge zu vertiefen. Wer sich weiter in dieses auch für den Amateur sehr interessante und vielseitige Gebiet der Fernsehelektronik einarbeiten will, der sei auf die im Anhang angegebene spezielle Literatur verwiesen.
Bild 80 gibt das zeitweilig vom Deutschen Fernsehfunk ausgestrahlte „elektronische Testbild" wieder, bei dem an dieser Stelle vor allem die in Bildmitte sichtbare „Grautreppe" interessiert. Bild 81 zeigt das an der Katode der Bildröhre vorhandene Video-Signalgemisch dieses Testbilds. Die Zeitablenkfrequenz betrug 25 Hz (= $^1/_2$ Vertikalfrequenz); in Bild 81 sind demzufolge zwei Bildwechselimpulse erkennbar. In der Mitte des Oszillogramms ist wiederum die Grautreppe zu sehen. Bild 82 zeigt das zu-

gehörige Zeilenoszillogramm; die Ablenkfrequenz entsprach dabei der Zeilenfrequenz (15 625 Hz). Deutlich sichtbar wird der Zeilensyonchronimpuls mit der hinteren Schwarzschulter. Die vordere Schwarzschulter ist etwas verrundet. Die rechts oberhalb des Schwarzpegels erkennbare Leuchtspur

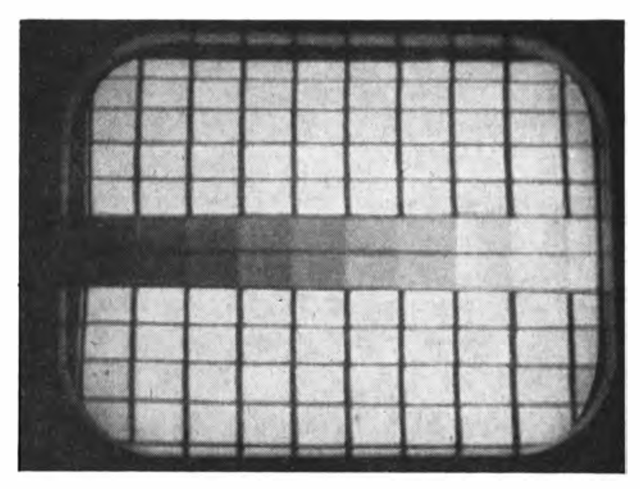


Bild 80 „Elektronisches Testbild" des Deutschen Fernsehfunks

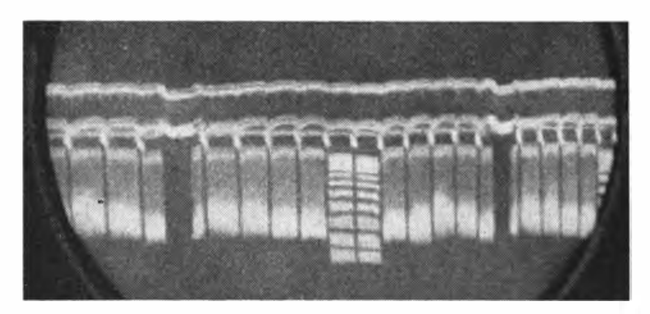


Bild 81 Das an der Katode der Fernsehbildröhre vorhandene Video-Signalgemisch, oszillografiert über zwei Perioden der Vertikalablenkung. Die beiden Bildwechselimpulse und in Bildmitte die „Grautreppe" aus dem Testbild (Bild 80) sind deutlich erkennbar

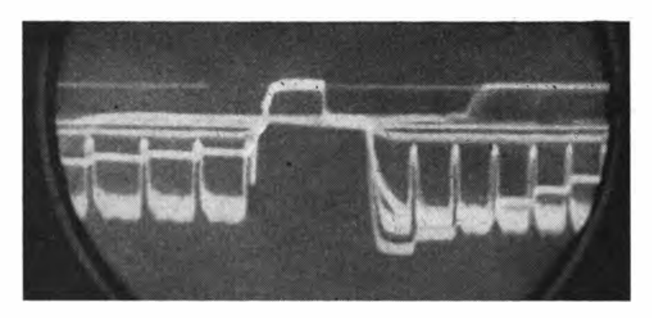


Bild 82 Zeilenoszillogramm (Ablenkfrequenz 15 625 Hz) zu Bild 80

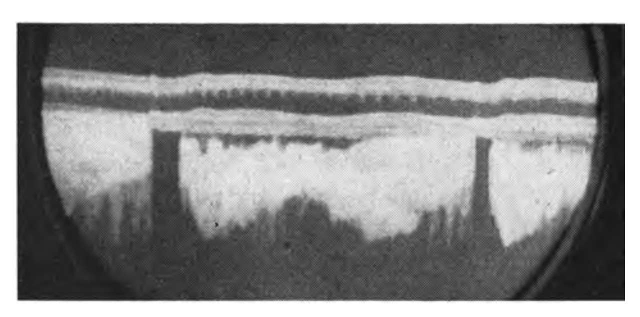


Bild 83 Ein Video-Signalgemisch, wie es einer normalen Programmübertragung entspricht. Ablenkfrequenz 25 Hz; die zwei Bildwechselimpulse sind wieder deutlich erkennbar

rührt vom Strahlrücklauf des Oszillografen her, der hier nicht dunkelgetastet wurde. Im Bildinhalt beiderseits unterhalb des Zeilenimpulses sieht man, mit dem Weißwert beginnend und nach rechts ansteigend, ebenfalls die Grautreppe. Die außerdem dort vorhandenen, an der Unterkante verwaschenen Impulsgruppen entsprechen den Rechtecken in Bild 80, die zwischen ihnen bis zum Schwarzpegel hinaufreichenden Lücken den senkrechten Trennlinien.
Bild 83 stellt das Vertikaloszillogramm entsprechend Bild 81 dar, wie es einer normalen Programmübertragung entspricht. Der „Bildinhalt" zwischen den Bildwechselimpulsen ist dann entsprechend den im Fernsehbild vor-

handenen Bewegungsabläufen ebenfalls in ständiger Bewegung und für den Techniker gänzlich uninteressant. Das gleiche gilt für das zugehörige Zeilenoszillogramm (Bild 84). – Übersichtliche Oszillogramme ergeben sich, wenn ein einfaches Bildsignal vorliegt, beispielsweise eine Grautreppe, wie sie von Bildmustergeneratoren (das sind

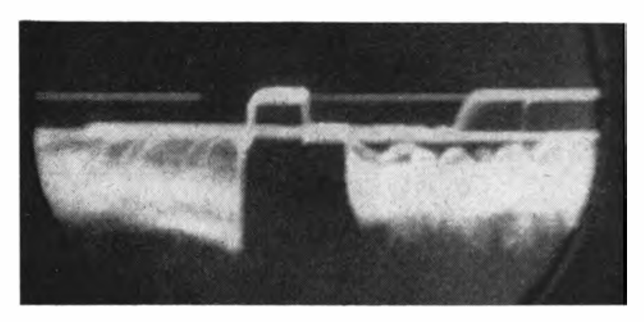


Bild 84 Zeilenoszillogramm (Kippfrequenz 15 625 Hz) zu Bild 83

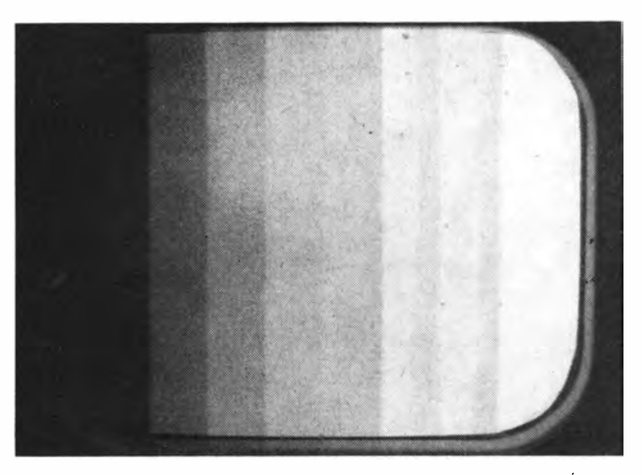


Bild 85 „Grautreppe" auf dem Fernsehbildschirm, wie sie von einem Bildmuster-Prüfgenerator geliefert wird. Die Grautreppe hat 10 Helligkeitsstufen, die hier im Druck z. T. verlorengehen

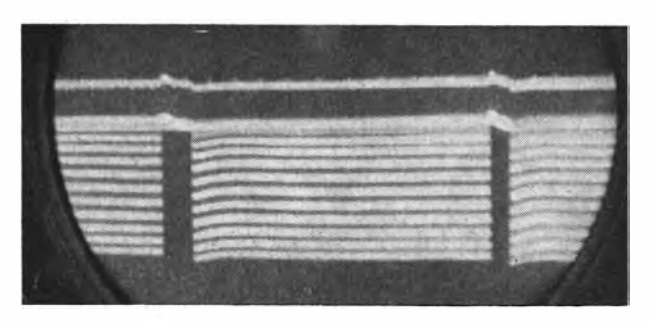


Bild 86 Vertikaloszillogramm (25 Hz) zu Bild 85

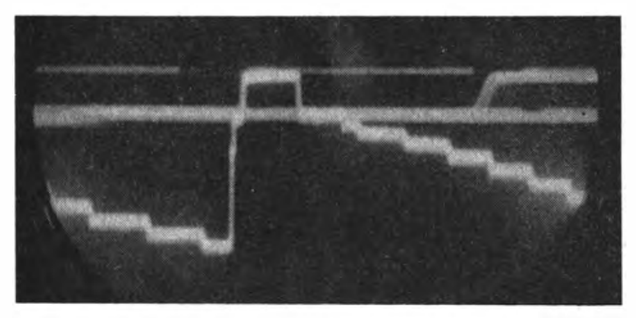


Bild 87 Zeilenoszillogramm (15 625 Hz) zu Bild 85. Der Verlauf der Grautreppe ist sehr klar erkennbar

spezielle Impulsgeber für Fernsehprüfzwecke) geliefert wird. Das Aussehen einer Grautreppe im Fernsehbild zeigt Bild 85; die zehn Helligkeitsstufen lassen sich im Druck leider nicht völlig originalgetreu wiedergeben. Da der Bildinhalt in diesem Fall für alle Zeilen zum gleichen Zeitpunkt der gleiche ist, wirkt das entstehende Bildoszillogramm (Bild 86), mehr noch aber das Zeilenoszillogramm (Bild 87) sehr anschaulich. Der verhältnismäßig tieffrequente Bildwechselimpuls weist in Bild 86 übrigens eine ganz minimale Dachschräge auf, die für die Frequenz von 50 Hz einen – in diesem geringen Maß unerheblichen – Phasenfehler bedeutet (vgl. mit Bild 41 und 43). Aus dem Zeilenoszillo-

gramm Bild 87 ist jetzt sowohl der Synchronimpuls mit vorderer und hinterer Schwarzschulter als auch der Verlauf der Grautreppe sehr klar ersichtlich; rechts oberhalb des Schwarzpegels wieder die Rücklaufspur des Schreibstrahls. Letztere „Impuls" gehört also nicht organisch zum Oszillogramm.

Aus der Grautreppe kann der Fernsehtechniker eine ganze Reihe Schlußfolgerungen ziehen. Zunächst geben oberste und unterste Treppenstufe den Bezugspegel für Bildschwarzwert und Bildweißwert an. Etwaige Überschwingerscheinungen sind an den Impulskanten sofort erkennbar, ebenso andere Bildstörungen, wie Fahnenbildung im Fernsehbild und dergleichen. Die aus der Reparaturpraxis bekannte, gelegentlich auch senderseitig bedingte Erscheinung des „Zeilenreißens" wäre dagegen nicht im Zeilenoszillogramm, sondern im Bildoszillogramm (Bilder 81, 83, 86) in Form senkrechter Einrisse erkennbar. Da bei der Grautreppe nach Bild 87 die Abstände der einzelnen Grauwerte (Treppenstufen) zueinander gleich sind, kann auf eventuelle nichtlineare Verstärkung im Videokanal geschlossen werden. In diesem Fall erscheinen entweder die oberen oder die unteren Stufen vertikal zusammengeschoben, was sich im Fernsehbild als fehlende Schattendurchzeichnung bzw. kalkige, ausgefressene Weißen bemerkbar macht. Eine Änderung der Kontrasteinstellung entspricht einer Verstärkungsänderung im Videokanal und wird daher sowohl im Bild- als auch im Zeilenoszillogramm als Änderung der Vertikalamplitude sichtbar. Diese kleine Auslese mag vorläufig genügen. – Selbstverständlich ist auch bei derartigen Oszillogrammen die Anwendung der vorangehend beschriebenen Meßmethoden möglich (z. B. eine Amplitudenmessung der einzelnen Grauwerte in Bild 87 mittels Kalibrator-Vergleichungsspannung).

7. Fotografische Registrierung von Schirmbildern

In den vorangegangenen Kapiteln wurde mehrfach die Notwendigkeit der fotografischen Registrierung von Oszillogrammen deutlich, sei es zur nachträglichen genauen Auswertung nur kurzzeitig darstellbarer Oszillogrammformen oder für spätere Vergleichszwecke. Deshalb folgen nun einige Hinweise für die dafür erforderliche fotografische Technik.
Grundsätzlich werden Oszillogramme mit einer üblichen Kamera direkt vom Bildschirm fotografiert. Der Kameratyp ist nicht von grundsätzlicher Bedeutung. Als vorteilhaft erweist sich wegen des ökonomischen Filmverbrauchs bei Reihenaufnahmen eine Kleinbildkamera und dabei wieder die einäugige Spiegelreflexkamera. Sämtliche Aufnahmen der beiden vorliegenden Broschüren wurden vom Verfasser mit der Praktina II A hergestellt, alle ähnlichen Kameras sind gleichermaßen geeignet. Die Kamera wird auf standfestem Tischstativ vor dem Oszillografen aufgestellt (industrielle Oszillografen haben als Zubehör oft einen Fototubus, mit dem die Kamera direkt am Oszillografen angesetzt werden kann). Die Entfernung wählt man so, daß der Bildschirm gerade das ganze Bildformat ausfüllt. Dafür ist im allgemeinen entweder eine Vorsatzlinse für Nahaufnahmen oder vorteilhafter – bei Kameras mit auswechselbarem Objektiv – ein Zwischenring zur Auszugsverlängerung erforderlich. Vor den Bildschirm wird ein Papptubus oder ein ähnlicher Tubus geeigneter Länge gesetzt, der bis an das Objektiv reicht und störendes Nebenlicht vom Bildschirm fernhält. Es kann dann bei mäßig hellem Raumlicht gearbeitet werden. Die Beobachtung des Oszillogramms erfolgt bei einäugigen Spiegelreflexkameras auf der Suchermattscheibe, bei anderen Kameras behilft man sich durch Einblicken in den Tubus dicht am Kameragehäuse vorbei, da andere Suchersysteme wegen der

Parallaxe selbstverständlich ausscheiden. Ausgelöst wird mit Drahtauslöser, um Verwacklungen zu vermeiden. Das Oszillogrammbild stellt man zweckmäßig auf normale bis kräftige, aber nicht übertriebene Helligkeit ein, das Kameraobjektiv ist in jedem Falle voll aufzublenden, da Tiefenschärfe und besonders gute Auflösung nicht benötigt werden. Der Objektivtyp ist prinzipiell nebensächlich. Als Filmmaterial hat sich nach den Erfahrungen des Verfassers der Wolfener NP 27-Film = 27 DIN gut bewährt. Er wird in einem der handelsüblichen Feinkornentwickler (der Verfasser benutzt ORWO F 43) genau nach Fabrikvorschrift normal entwickelt. Feinstkornentwickler sind unangebracht, da die Filmauflösung in jedem Falle noch besser als die des Oszillogramms ist und eher harte Negative mit steiler Gradation erwünscht sind. Die Positivtechnik (Abzüge oder Vergrößerungen) unterscheidet sich in nichts vom Üblichen und ist insofern einfach, da selten Gewicht auf die Gradation oder Graustufen gelegt wird. Eine übertrieben harte Positivtechnik kann jedoch ebenfalls von Nachteil sein, da dann feinere Oszillogrammdetails meist untergehen. Bei einem normal belichteten und entwickelten Negativ wird man bei Verwendung der üblichen Papierentwickler (ORWO E 102 o. ä.) stets mit der Papiergradation „normal" auskommen.

Die Belichtungszeit muß sich bei geringen Zeitbasisfrequenzen nach der Periodendauer der Kippfrequenz richten. Bei langen Zeiten kann es u. U. erforderlich werden, das Objektiv ausnahmsweise abzublenden. Bei Frequenzen über 40 bis 50 Hz arbeitet man mit offener Blende und mit einer durch einmaligen Vorversuch ausprobierten Standardbelichtungszeit; dann fallen stets mehrere Kippfrequenzperioden in die Belichtungsdauer. Als Anhaltswert für ein Oszillogramm normaler bis kräftiger Helligkeit für den Wolfener NP 27-Film und Blende 2 des Objektivs kann eine Belichtungszeit von $^1/_{15}$ Sekunde angesetzt werden. In Zweifelsfällen macht man zwei bis drei Aufnahmen mit gestaffelter Zeit- oder Blendeneinstellung, wobei es nicht sinnvoll ist, weniger als zwei Blenden oder Zeitschritte zu staf-

feln. Man kommt also in jedem Fall mit höchstens drei Aufnahmen aus (etwa Blende 2, 4 und 8 oder $^1/_4$, $^1/_{15}$ und $^1/_{60}$ Sekunde); vorausgesetzt natürlich, daß das Oszillogramm für die Dauer der Belichtung zum Stillstand kommt. Man wird in Fällen schwieriger Synchronisierung mit einer Hand am Kippfrequenzregler oder Vergleichsgenerator o. ä. ständig etwas nachregeln und im geeigneten Moment mit der anderen Hand in „Schnappschußmanier" die Kamera auslösen müssen. Dann empfiehlt es sich allerdings, zur Sicherheit wenigstens drei gleichartige Aufnahmen zu machen, um Bewegungsunschärfen vorzubeugen. Besonders bei Reihenaufnahmen muß außerdem unbedingt zu jeder Aufnahmenummer (am Kamerazählwerk ablesen und notieren) eine Skizze gemacht werden, aus der Meßaufbau und alle wesentlichen Meßdaten (Kippfrequenz, Amplitudenwerte, Vergleichsfrequenz usw. sowie Bedeutung des Oszillogramms und während der Aufnahme bemerkte Besonderheiten) ersichtlich sind, da es sonst nahezu unmöglich wird, die Oszillogramme nachträglich zu identifizieren. Auf dem Notizzettel trägt man nach Entwicklung des Films neben den Aufnahmenummern die zugehörigen im Film vorhandenen Negativnummern nach, die späterhin auch auf den Rückseiten der Positive anzubringen sind. Bei den Positiven sollte außerdem sofort bei der Dunkelkammerarbeit die Unterkante markiert werden, da sonst leicht ein unbemerkt kopfstehendes Oszillogrammfoto zu falschen Schlüssen führen kann (s. Fußnote S. 102).
Auf den Einfluß der Belichtungszeit bei niedriger Kippfrequenz wurde bereits hingewiesen. Es läßt sich leicht einsehen: Ist die Belichtungszeit kürzer als die Hinlaufzeit des Strahls für eine vollständige Periode, so kann natürlich nicht der ganze Meßvorgang abgebildet werden. Die Strahlrücklaufzeit ist so gering, daß man sie nicht besonders zu berücksichtigen braucht; trotzdem sollte die Belichtungszeit zur Sicherheit nicht kürzer als das Doppelte der Strahlhinlaufzeit sein. Für eine Belichtungszeit von $^1/_{15}$ Sekunde bedeutet das eine unterste Kippfrequenz von 30, höchstens aber 25 Hz. Bei niedrigeren Kippfrequenzen

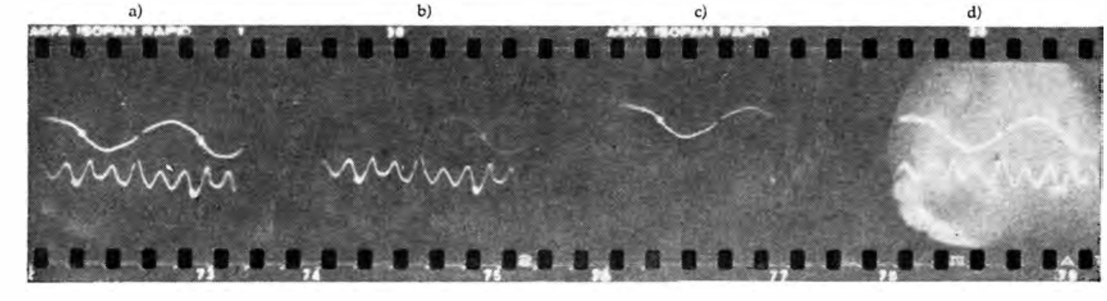


Bild 88 Bildbeispiele für den Einfluß der Belichtungszeit auf die fotografische Abbildung des Schirmbildes
Vergleiche auch Bild 26
a) Blende 2, $^1/_{15}$ s;
b) Blende 2, $^1/_{30}$ s;
c) Blende 2, $^1/_{60}$ s;
d) Blende 2, $^1/_2$ s (überbelichtet)

muß die Belichtungszeit vergrößert und dafür das Objektiv entsprechend abgeblendet oder die Bildhelligkeit etwas verringert werden. Einige Bildbeispiele sollen abschließend das Gesagte bekräftigen.

Bild 88a zeigt eine Kontaktkopie vom Negativstreifen; ein entsprechender Meßvorgang wurde bereits bei Bild 54 erläutert. Die Aufnahmen der Bilder 88a bis d entstanden mit Simultanschalter. Das Bild a ist als normal zu bezeichnen. Die Frequenz der oberen Sinuskurve betrug 50 Hz, die Kippfrequenz demnach 25 Hz. Belichtungszeit: $^1/_{15}$ Sekunde. Da beide Kurven zeitlich nacheinander geschrieben werden, liegt diese Belichtungszeit sogar schon etwas unter der theoretisch erforderlichen Mindestzeit von $^1/_{12,5}$ Sekunde. Für Bild 88b ist die Belichtungszeit auf $^1/_{30}$ Sekunde verringert worden: Jetzt wurde nur noch ein Strahlhinlauf erfaßt; in diesem Bild war es zufällig der der unteren Kurve. Vom oberen Kurvenzug erkennt man noch ein geringes Nachleuchten, das nach rechts hin etwas kräftiger erscheint, weil dort der Kurvenzug noch etwas „jünger" ist. Die Belichtungszeit wurde nunmehr auf $^1/_{60}$ Sekunde verkürzt (Bild 88c); sie fiel zufällig mit dem oberen Kurvenzug zusammen. Eine Nachleuchtspur der unteren Kurve kann man in der Originalaufnahme noch eben sehen, im Druck geht sie leider verloren. Eindeutig ist aber zu erkennen, daß nun auch die obere Kurve – deren Hinlauf ja rund $^1/_{25}$ Sekunde dauert – nicht mehr vollständig abgebildet wird, wie der Vergleich mit Bild 88a zeigt. Aus diesem Zusammenhang ergibt sich übrigens auch eine relativ einfache und für die Praxis ausreichend genaue Möglichkeit der Verschlußzeitmessung bei Kameras (als Beispiel der Messung nichtelektrischer Größen): Man bildet eine Sinuskurve bekannter Frequenz ab und versieht sie mit Hellmarken, entsprechend dem bei Bild 22 und Kapitel 2.2. Gesagten. Wenn die Frequenz der Hellmarken bekannt und so gewählt ist, daß diese auf der Kurve stillstehen, dann kann man die „Perlschnurkurve" fotografieren und durch nachträgliches Auszählen der abgebildeten Punktanzahl auf dem Negativ von der Hellmarkenfrequenz auf die wahre

Verschlußzeit umrechnen; vorausgesetzt allerdings, daß die Verschlußzeit kürzer als die Periodendauer der „Perlschnur" ist, diese also *nicht* vollständig abgebildet wird.
Bild 88d zeigt den gegensätzlichen Fall der zu lang gewählten Belichtungszeit. Zwar werden jetzt beide Kurvenzüge vollständig abgebildet, aber es kommt zu einer Überbelichtung des Negativs, bei der alle Feinheiten der Kurve verlorengehen. Die Belichtungszeit betrug $^1/_2$ Sekunde. Alle vier Fotos zu Bild 88 wurden übrigens bei gleicher Blende 2 gemacht. Die Fotos 88a bis c beweisen daher auch, wie relativ groß der Belichtungsspielraum ist.
Bild 89 zeigt ein Beispiel für Bewegungsunschärfe durch schlechte Synchronität. Der oben über Simultanschalter abgebildete Sägezahn wurde vom Rechteckgeber mit Impulsformer (Teil I) abgenommen; Rechteckgenerator, Oszillograf und Simultanschalter waren untereinander synchronisiert. Zur Frequenzbestimmung wurde über Eingang Y 2 des Simultanschalters eine vom Tongenerator entnommene Sinusfrequenz eingeschrieben. Wegen kleiner Frequenzinstabilitäten des Rechteckgenerators war diese ständig in leichter, unregelmäßiger Bewegung nach links und rechts und konnte mit der Frequenzfeinregelung des Rechteckgenerators (auf den Oszillograf und Simultanschalter synchronisierten) nur für Sekundenbruchteile zum Stehen ge-

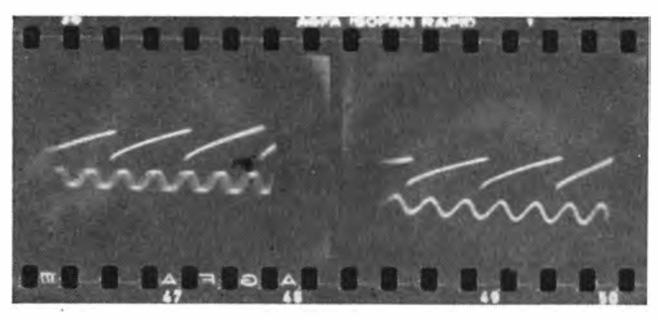


Bild 89 und 90 Beispiele für Bewegungsschärfen durch Kameraauslösung zu ungünstigem Zeitpunkt, wenn das Oszillogrammbild nur kurzzeitig steht

bracht werden. Derartige Aufnahmen erfordern einige Geduld und sind nur fotografisch exakt auswertbar. Für Bild 89 wurde die Kamera in einem ungeeigneten Moment ausgelöst. Die Sinuskurve war schon wieder in Bewegung geraten und ist daher unscharf abgebildet, zumal wegen der relativ hohen Frequenz (Sägezahn 1,5 kHz, Sinusschwingung 3 kHz, Zeitablenkung 500 Hz) etwa 30 Strahlhinläufe zur Abbildung kamen. Die Aufnahme wurde wiederholt, die Kamera zu einem günstigen Zeitpunkt ausgelöst: Die Sinusschwingung stimmte gerade ganzzahlig mit der Sägezahnschwingung überein und stand daher still. Das nunmehr einwandfreie Ergebnis zeigt Bild 90.
Diese Beispiele mögen genügen. Auf sie wurde deshalb etwas ausführlicher eingegangen, weil in der dem Amateur zugänglichen Literatur über diese Dinge relativ wenig zu finden ist. Ausführliche Angaben zu diesem Gebiet enthält [1].

Zu Seite 98: Ein am Bildschirmrand absichtlich an einer das Oszillogramm nicht störenden Stelle vorhandener Raumlicht-Reflex oder ähnliches Hilfsmittel erleichtert sehr die spätere Identifizierung der richtigen Oszillogrammlage. Fotos dieses Bandes z. B.: Heller Fleckt rechts oben!

8. Literaturhinweise

[1] Czech, *Oszillografen-Meßtechnik,* Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik, Berlin-Borsigwalde 1959

[2] Fricke, *Der Katodenstrahloszillograf,* Fachbuchverlag Leipzig

[3] Streng, *NF-Verstärker-Meßtechnik,* Band 30 der Reihe *Der praktische Funkamateur*

[4] Jakubaschk/Scholz, *Fernsehempfänger selbstgebaut,* Band 14 der Reihe *Der praktische Funkamateur*

[5] Jakubaschk, *Meßplatz des Amateurs,* Band 18 der Reihe *Der praktische Funkamateur*

[6] Werner/Barth, *Kleine Fernseh-Reparaturpraxis,* VEB Verlag Technik, Berlin 1961

[7] *Frequenzhubmessung, radio und fernsehen,* Heft 10 (1963), Seite 313, und Heft 11 (1963), Seite 343 (Diodenmischstufe)

[8] *Auswertung von verformten Rechteckimpulsen, radio und fernsehen,* Heft 10 (1959), Seite 287/88

[9] Millner, *Katodenstrahl-Oszillografen,* Grundlagen und Anwendungen, VEB Verlag Technik, Berlin 1965 sowie die in Band 44 der Reihe *Der praktische Funkamateur* genannte Literatur